



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 42 32 040 A 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 01 L 3/10
G 01 B 7/30
G 01 D 5/12
B 60 K 23/08

⑳ Aktenzeichen: P 42 32 040.2
㉔ Anmeldetag: 24. 9. 92
㉕ Offenlegungstag: 8. 4. 93

DE 42 32 040 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
26.09.91 JP 248052/91 31.03.92 JP 75002/92
21.05.92 JP 128441/92 21.08.92 JP 223067/92

⑦1 Anmelder:
Mazda Motor Corp., Hiroshima, JP

⑦4 Vertreter:
Deufel, P., Dipl.-Wirtsch.-Ing.Dr.rer.nat.; Hertel, W.,
Dipl.-Phys.; Rutetzki, A., Dipl.-Ing.Univ.; Rucker, E.,
Dipl.-Chem. Univ. Dr.rer.nat.; Huber, B., Dipl.-Biol.
Dr.rer.nat.; Becker, E., Dr.rer.nat.; Steil, C., Dipl.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦2 Erfinder:
Tsuji, Yorikazu; Okazaki, Toshimi; Nakamura,
Hiroyuki, Hiroshima, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Drehmomenterfassungssystem

⑤7 Ein Drehmomenterfassungssystem zum Erfassen des auf ein Rotationselement wirkenden Drehmomentes hat einen ersten und einen zweiten Magnetkopf, die voneinander in axialer Richtung des Rotationselementes beabstandet sind, und einen dritten Magnetkopf, der von dem ersten Magnetkopf um einen vorbestimmten Winkel Θ_0 in umfänglicher Richtung des Rotationselementes beabstandet ist. Eine erste und eine zweite Magnetschicht sind auf der Umfangsfläche des Rotationselementes vorgesehen und Positionssignale werden auf die jeweilige Magnetschicht durch den ersten und den zweiten Magnetkopf aufgezeichnet, während sich das Rotationselement belastet dreht. Die auf die Magnetschichten aufgezeichneten Positionssignale werden über den ersten bis dritten Magnetkopf wiedergegeben, während sich das Rotationselement belastet dreht. Die Phasendifferenz Δt zwischen den durch den ersten und zweiten Magnetkopf wiedergegebenen Positionssignalen wird erfaßt und zur selben Zeit wird die Zeitdifferenz t zwischen den durch den ersten und den dritten Magnetkopf wiedergegebenen Positionssignalen erfaßt. Der Winkel der Torsion Θ des Rotationselementes und das darauf wirkende Drehmoment T werden unter Verwendung der Zeitdifferenz t und der Phasendifferenz Δt berechnet.

DE 42 32 040 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Drehmoment-
erfassungssystem zum Erfassen des Drehmomentes,
welches auf ein Rotationselement wie eine Leistungs-
übertragungswelle eines Motorfahrzeugs wirkt, und be-
trifft insbesondere ein solches Drehmomenterfassungssystem,
das das Drehmoment auf der Basis des Torsionswinkels
des Rotationselementes erfaßt.

In jüngster Zeit besteht immer mehr Nachfrage nach
Drehmomenterfassungen. Um z. B. die Drehmoment-
verteilung auf die Vorderräder und die Hinterräder bei
einem vierradgetriebenen Fahrzeug genau zu steuern,
muß das auf jedes Rotationselement wirkende Drehmo-
ment mit hoher Genauigkeit erfaßt werden.

Es ist ein Drehmomenterfassungssystem bekannt,
welches den Torsionswinkel des Rotationselementes
aufgrund des darauf wirkenden Drehmomentes erfaßt
und die Größe des Drehmomentes auf der Basis des
Torsionswinkels bestimmt. Es können z. B. zumindest
ein Paar von Drehkodierern an dem Rotationselement
vorgesehen werden und der Torsionswinkel wird auf
der Basis der Phasendifferenz Δt der Erfassungssignale
der Kodierer gemessen und der Torsionswinkel wird
dann in das Drehmoment umgewandelt.

Als solche Winkel- bzw. Drehkodierer sind solche be-
kannt, die optische Einrichtungen verwenden, und sol-
che, die magnetische Einrichtungen verwenden. In der
japanischen, nicht geprüften Patentveröffentlichung Nr.
62(1987)-2 39 031 ist z. B. ein Drehmomenterfassungssystem
offenbart, welches magnetische Drehkodierer ver-
wendet. Um jedoch den Torsionswinkel durch Verwen-
dung derartiger Drehkodierer zu erfassen, muß das
Drehmoment mit einem Schlitz, einem Zahnrad oder
dergleichen versehen sein, was sich nachteilig auf die
Größe und das Gewicht des Systems auswirkt. Weiter-
hin werden beim Montieren der Drehkodierer inhärent
Montagefehler erzeugt. Wenn sich weiterhin die ver-
bleibende bzw. Resttorsionsbelastung des Rotationsele-
mentes akkumuliert, verändern sich die relativen Posi-
tionen der Drehkodierer graduell und die Drehmoment-
erfassungsgenauigkeit verschlechtert sich mit der Zeit.

Das auf ein Rotationselement wirkende Drehmoment
kann auch erfaßt werden unter Verwendung eines Bela-
stungsfeinmeßinstrumentes oder eines magnetostrikti-
ven Materials. Die Verwendung des Feinmeßinstrumen-
tes führt jedoch zu Schwierigkeiten beim Anbringen
bzw. Bondieren des Belastungsfeinmeßgerätes an dem
Rotationselement und beim Abnehmen eines Signals
von dem Belastungsfeinmeßinstrument. Die Verwen-
dung von magnetostriktivem Material ist nachteilig da-
hingehend, daß das magnetostriktive Material an dem
Rotationselement angebracht bzw. bondiert werden
muß oder das Rotationselement unter Ausbildung einer
Vertiefung oder dergleichen hergestellt werden muß.

Es ist in der japanischen, nicht geprüften Patentver-
öffentlichung Nr. 3(1991)-1 15 940 ein Drehmomenterfas-
sungssystem vorgeschlagen worden, welches das Dreh-
moment auf ein Rotationselement auf die folgende Art
und Weise erfaßt.

Bei dem Drehmomenterfassungssystem ist ein Paar
von magnetischen Aufzeichnungsmedien wie Magnet-
platten oder -scheiben an dem Rotationselement unter
Beabstandung voneinander um eine vorbestimmte Ent-
fernung L in Längsrichtung des Rotationselementes an-
gebracht, ein Paar von Magnetköpfen ist jeweils gegen-
überstehend zu den magnetischen Aufzeichnungsme-
dien vorgesehen, periodische Signale, die phasengleich

sind, werden auf die Medien durch die Köpfe aufge-
zeichnet, während keine Last auf das Rotationselement
wirkt, die periodischen Signale werden durch die Köpfe
reproduziert, wenn eine Belastung auf das Rotationsele-
ment wirkt, eine Phasendifferenz Δt zwischen den er-
zeugten Signalen wird erfaßt und das Drehmoment T
auf das Rotationselement wird berechnet gemäß der
folgenden Formel auf der Basis der Phasendifferenz Δt .

$$T = \pi^2 G d^4 \cdot \Delta t \cdot (f/f_0) \cdot N_0 / 16L \quad (1)$$

wobei G das Schubmodul bzw. Stirnmodul des Rota-
tionselementes darstellt, d den Durchmesser des Rota-
tionselementes darstellt, f die Frequenz des wiedergege-
benen Signals darstellt, f_0 die Frequenz des aufgezeich-
neten Signals darstellt und N_0 die Rotationsgeschwin-
digkeit des Rotationselementes beim Aufzeichnen des
Signals darstellt.

Das Drehmomenterfassungssystem kann das Dreh-
moment ohne Veränderung mit der Zeit genau erfassen,
da die periodischen Signale zu jeder Zeit neu geschrie-
ben werden können. Das System führt jedoch zu einem
anderen Problem dahingehend, daß, wenn die Rota-
tionsgeschwindigkeit des Rotationselement fluktuiert
bzw. schwankt, die periodischen Signale nicht mit Ge-
nauigkeit aufgezeichnet werden können und ein Fehler
in dem berechneten Wert des Drehmomentes erzeugt
wird. Die Geschwindigkeit eines Rotationselement in
dem Antriebssystem eines Fahrzeuges schwankt gene-
rell häufig und es ist sehr schwierig, die Schwankung zu
unterdrücken.

In Anbetracht der oben stehenden Beobachtungen
und Beschreibung ist es die Hauptaufgabe der vorlie-
genden Erfindung, ein Drehmomenterfassungssystem
zu schaffen, welches einfach im Aufbau und klein in der
Größe ist und das Drehmoment eines Rotationselemen-
tes mit einer hohen Genauigkeit frei von Fehlern auf-
grund von Alterungserscheinungen bzw. -änderungen
oder aufgrund von Montagefehlern erfassen kann.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist
es, ein Drehmomenterfassungssystem anzugeben, wel-
ches das Drehmoment eines Rotationselementes mit ei-
ner hohen Genauigkeit erfassen kann, selbst wenn die
Rotationsgeschwindigkeit des Rotationselementes
schwankt.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist
es, ein Drehmomenterfassungssystem anzugeben, wel-
ches das Drehmoment eines Rotationselementes mit ei-
ner hohen Genauigkeit erfassen kann, und zwar unab-
hängig von der Richtung der Belastung, die auf das Ro-
tationselement wirkt.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist
es, ein Drehmomenterfassungssystem anzugeben, wel-
ches die Richtung der Belastung leicht erfassen kann, die
auf das Rotationselement wirkt.

Erfindungsgemäß sind ein erster und ein zweiter Ma-
gnetkopf voneinander in axialer Richtung des Rota-
tionselementes beabstandet und ein dritter Magnetkopf
ist von dem ersten Magnetkopf um einen vorbestimm-
ten Winkel Θ_0 in umfänglicher Richtung des Rotations-
elementes beabstandet. Die Phasendifferenz Δt zwi-
schen den Positionssignalen, die durch den ersten und
den zweiten Magnetkopf wiedergegeben werden, wird
erfaßt und zur selben Zeit wird die Zeitdifferenz t zwi-
schen den Positionssignalen, die durch den ersten und
den dritten Magnetkopf wiedergegeben werden, erfaßt.
Der Winkel der Torsion Θ des Rotationselementes und
das darauf wirkende Drehmoment T werden berechnet

unter Verwendung der Zeitdifferenz t und der Phasendifferenz Δt .

D.h., erfindungsgemäß wird ein Drehmomenterfassungssystem zum Erfassen eines Drehmomentes angegeben, das auf ein Rotationselement wirkt, mit einem ersten Magnetkopf, der nahe zu der Umfangsoberfläche des Rotationselementes angeordnet ist und einem ersten magnetischen Aufzeichnungsabschnitt gegenübersteht, der auf der Umfangsfläche des Rotationselementes vorgesehen ist,

einem zweiten Magnetkopf, der nahe der Umfangsfläche des Rotationselementes angeordnet ist und einem zweiten magnetischen Aufzeichnungsabschnitt gegenübersteht, der auf der Umfangsfläche des Rotationselementes vorgesehen ist, wobei der zweite Magnetkopf von dem ersten Magnetkopf um eine vorbestimmte Entfernung in Längsrichtung des Rotationselementes beabstandet ist,

einem dritten Magnetkopf, der nahe der Umfangsfläche des Rotationselementes angeordnet ist und dem ersten magnetischen Aufzeichnungsabschnitt gegenübersteht, wobei der dritte Magnetkopf gegenüber dem ersten Magnetkopf um einen vorbestimmten Winkel in umfänglicher Richtung des Rotationselementes winkelmäßig beabstandet ist,

einer Aufzeichnungseinrichtung, die ein erstes und ein zweites Positionssignal jeweils auf dem ersten und dem zweiten magnetischen Aufzeichnungsabschnitt über den ersten und den zweiten Magnetkopf aufzeichnet, während sich das Rotationselement unter keiner Belastung bzw. unbelastet dreht,

einer Wiedergabeeinrichtung, die das erste Positionssignal über den ersten und den dritten Magnetkopf und das zweite Positionssignal über den zweiten Magnetkopf wiedergibt, während sich das Rotationselement unter Belastung bzw. belastet dreht,

einer Phasendifferenzfassungseinrichtung, die die Phasendifferenz zwischen den durch den ersten und den zweiten Magnetkopf wiedergegebenen Positionssignalen erfaßt,

einer Zeitdifferenzfassungseinrichtung, die die Zeitdifferenz zwischen den durch den ersten und den dritten Magnetkopf wiedergegebenen Positionssignalen erfaßt, einer Torsionswinkelberechnungseinrichtung, die den Torsionswinkel des Rotationselementes erfaßt, wenn sich dieses belastet dreht, und zwar auf der Basis des vorbestimmten Winkels, der Phasendifferenz und der Zeitdifferenz, und

einer Drehmomentberechnungseinrichtung, die das auf das Rotationselement wirkende Drehmoment auf der Basis des Torsionswinkels berechnet.

Die magnetischen Aufzeichnungsabschnitte können z. B. durch Aufbringung oder Plasma-Sprühüberziehen von magnetischem Material auf die Umfangsfläche des Rotationselementes gebildet werden. Weiterhin können die magnetischen Aufzeichnungsabschnitte Teile des Rotationselementes selbst sein, wenn das Rotationselement aus magnetischem Material gebildet ist. Der erste und der zweite magnetische Aufzeichnungsabschnitt müssen nicht getrennt voneinander ausgebildet sein, sondern können einstückig miteinander ausgebildet sein.

Der erste und der dritte Magnetkopf können einen einzelnen Mehrspalt-Magnetkopf mit einem Paar von Spalten aufweisen.

Der Winkel der Torsion Θ des Rotationselementes kann auf der Basis des Winkels Θ_0 zwischen dem ersten und dem dritten Magnetkopf, der Phasendifferenz Δt

und der Zeitdifferenz t z. B. gemäß der folgenden Formel (2) berechnet werden und das Drehmoment T , welches auf das Rotationselement wirkt, kann auf der Basis des Winkels der Torsion Θ z. B. gemäß der folgenden Formel (3) berechnet werden.

$$\Theta = (\Delta t/t) \cdot \Theta_0 \quad (2)$$

$$T = \pi^2 G d^4 \cdot \Theta / 64 L \quad (3)$$

wobei G das Quer- bzw. Stirnmodul des Rotationselementes darstellt, d den Durchmesser des Rotationselementes darstellt und L die Entfernung zwischen dem ersten und dem zweiten Magnetkopf darstellt.

Vorzugsweise werden die auf der ersten Magnetschicht aufgezeichneten Positionssignale mit regulären Abständen bzw. gleichmäßigen Intervallen aufgezeichnet in so großer Anzahl wie möglich, wie oben beschrieben.

Die Intervalle bzw. Wellenlängen, mit denen die Positionssignale aufgezeichnet werden, sollten größer sein als der Winkel Θ_0 zwischen dem ersten und dem dritten Magnetkopf, um die Zeitdifferenz t korrekt erfassen zu können.

Hierzu hat das Drehmomenterfassungssystem gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eine Rotationsgeschwindigkeitserfassungseinrichtung zum Erfassen der Rotationsgeschwindigkeit des Rotationselementes. Weiterhin ist die Aufzeichnungsschalteinrichtung ausgelegt, die Eigenschaften der auf der ersten Magnetschicht aufgezeichneten Positionssignale gemäß der Rotationsgeschwindigkeit des Rotationselementes derart zu verändern, daß das Drehmoment mit einer hohen Genauigkeit erfaßt werden kann, ohne durch Schwankungen der Rotationsgeschwindigkeit des Rotationselementes beeinflußt zu werden.

Die Rotationsgeschwindigkeitserfassungseinrichtung weist z. B. eine Signalaufzeichnungs- und Wiedergabeeinrichtung auf, die ein Positionssignal auf einem magnetischen Aufzeichnungsabschnitt, der auf dem Rotationselement vorgesehen ist, über einen Magnetkopf aufzeichnet und das Positionssignal über einen Magnetkopf wiedergibt, und weist eine Rotationsgeschwindigkeitsberechnungseinrichtung auf, die die Rotationsgeschwindigkeit auf der Basis des wiedergegebenen Positionssignals berechnet.

Die Signalaufzeichnungs- und Wiedergabeeinrichtung kann ein Paar von Magnetköpfen aufweisen, die winkelmäßig voneinander um einen vorbestimmten Winkel in umfänglicher Richtung des Rotationselementes beabstandet sind und die Rotationsgeschwindigkeitsberechnungseinrichtung berechnet die Rotationsgeschwindigkeit auf der Basis des vorbestimmten Winkels und der Zeitdifferenz zwischen wiedergegebenen Positionssignalen, die erhalten werden durch Wiedergeben des über einen der Magnetköpfe aufgezeichneten Positionssignals über beide der Magnetköpfe.

Der erste Magnetkopf kann den einen der Magnetköpfe verdoppeln bzw. gleichzeitig bilden und der dritte Magnetkopf kann den anderen der Magnetköpfe verdoppeln bzw. gleichzeitig bilden.

In einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfaßt das Drehmomenterfassungssystem weiterhin eine Lastrichtungsbestimmungseinrichtung, die die Richtung der Last bestimmt, die auf das Rotationselement wirkt.

Z.B. kann die Richtung der Last, die auf das Rotationselement wirkt, bestimmt werden auf der Basis eines Ver-

gleichs der Differenz zwischen den Zeiten, zu denen die wiedergegebenen Positionssignale, die jeweils durch den ersten und den zweiten Magnetkopf wiedergegeben werden, erfaßt werden, und der Differenz zwischen den Zeiten, zu denen die wiedergegebenen Positionssignale, die jeweils durch den zweiten und den dritten Magnetkopf wiedergegeben werden, erfaßt werden.

Die Richtung der Last, die auf das Rotationselement wirkt, kann auch bestimmt werden gemäß der Erfassungszeit der wiedergegebenen Positionssignale, die jeweils durch den ersten und den zweiten Magnetkopf wiedergegeben werden.

Nachstehend werden Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung anhand der Zeichnung beschrieben.

Fig. 1 ist eine schematische Ansicht, die ein Drehmomentenerfassungssystem gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 2 und 3 sind Zeitdiagramme zum Erläutern des Betriebs des Drehmomentenerfassungssystems.

Fig. 4 ist eine schematische Ansicht, die den in der ersten Ausführungsform verwendeten Magnetkopf zeigt.

Fig. 5 ist eine schematische Ansicht, die eine Modifikation des Magnetkopfes zeigt.

Fig. 6 ist eine Ansicht zum Erläutern des Betriebs des in Fig. 5 gezeigten Magnetkopfes.

Fig. 7 ist eine schematische Ansicht, die eine weitere Modifikation des Magnetkopfes zeigt.

Fig. 8 ist eine schematische Ansicht, die ein Drehmomentenerfassungssystem gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 9 und 10 sind Zeitdiagramme zum Erläutern des Betriebs des Drehmomentenerfassungssystems.

Fig. 11 ist eine schematische Ansicht, die das in einer Modifikation der zweiten Ausführungsform verwendete Rotationsgeschwindigkeitserfassungssystem zeigt.

Fig. 12 ist ein Schaltungsdiagramm, welches ein Beispiel der Zeitdifferenzfassungsschaltung zeigt, die in dem Rotationsgeschwindigkeitserfassungssystem verwendet wird.

Fig. 13 ist ein Schaltungsdiagramm, welches ein Beispiel der Rotationsgeschwindigkeitsberechnungsschaltung zeigt, die in dem Rotationsgeschwindigkeitserfassungssystem verwendet wird.

Fig. 14 ist ein Flußdiagramm zum Erläutern des Betriebs der Zeitdifferenzfassungsschaltung und der Rotationsgeschwindigkeitsberechnungsschaltung.

Fig. 15 ist eine schematische Ansicht, die ein Drehmomentenerfassungssystem gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 16 und 17 sind Zeitdiagramme zum Erläutern bzw. Darstellen des Problems, welches durch die dritte Ausführungsform zu lösen ist.

Fig. 18 und 19 sind Zeitdiagramme zum Erläutern des Betriebs der dritten Ausführungsform.

Fig. 20 ist eine schematische Ansicht, die ein Drehmomentenerfassungssystem gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 21 ist ein Schaltungsdiagramm der Zeichen- bzw. Vorzeichenbestimmungsschaltung, die in der vierten Ausführungsform verwendet wird.

Fig. 22 ist ein Zeitdiagramm zum Darstellen des Betriebs der Vorzeichenbestimmungsschaltung, während sich das Rotationselement unbelastet dreht.

Fig. 23 ist ein Zeitdiagramm zum Erläutern des Betriebs der Vorzeichenbestimmungsschaltung, während sich das Rotationselement unter einem negativen Dreh-

moment dreht.

Fig. 24 ist ein Zeitdiagramm zum Darstellen des Betriebs der Vorzeichenbestimmungsschaltung, während sich das Rotationselement unter einem positiven Drehmoment dreht.

Fig. 25 ist eine schematische Ansicht, die ein Drehmomentenerfassungssystem gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 26 und 27 sind Zeitdiagramme zum Erläutern des Betriebs der fünften Ausführungsform.

Fig. 28 ist eine schematische Ansicht, die ein Drehmomentenerfassungssystem gemäß einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 29 ist ein Schaltungsdiagramm der in der sechsten Ausführungsform verwendeten Vorzeichenbestimmungsschaltung, und

Fig. 30 und 31 sind Zeitdiagramme zum Erläutern des Betriebs der sechsten Ausführungsform.

In Fig. 1 ist ein Drehmomentenerfassungssystem gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt, welches ein Drehmoment auf ein Rotationselement 10 (z. B. eine Ausgangswelle eines automatischen Fahrzeuggetriebes) erfaßt, welches am linken Ende mit einer (nicht gezeigten) Antriebsquelle und am rechten Ende mit einer Last verbunden ist. Das Drehmomentenerfassungssystem weist eine erste und eine zweite ringförmige Magnetschicht 12a bzw. 12b auf, die auf der äußeren Umfangsfläche des Rotationselement 10 ausgebildet sind. Ein erster und ein zweiter Magnetkopf 14a bzw. 14b sind nahe der äußeren Oberfläche des Rotationselement 10 jeweils gegenüberliegend der ersten bzw. der zweiten Magnetschicht 12a bzw. 12b angeordnet. Der erste und der zweite Magnetkopf 14a und 14b sind voneinander um eine vorbestimmte Entfernung L in axialer Richtung des Rotationselement 10 beabstandet. Ein dritter Magnetkopf 14c ist nahe der äußeren Oberfläche des Rotationselement 10 gegenüber der ersten Magnetschicht 12a angeordnet. Der dritte Magnetkopf 14c ist gegenüber dem ersten Magnetkopf 14a um einen vorbestimmten Winkel Θ_0 (10 Grad in dieser Ausführungsform) in einer umfänglichen Richtung des Rotationselement 10 winkelmäßig beabstandet. Eine Aufzeichnungsschaltung 16 zeichnet Positionssignale Sw in denselben Phasen bzw. phasengleich auf der ersten und der zweiten Magnetschicht 12a und 12b über den ersten bzw. zweiten Magnetkopf 14a und 14b auf. Das Drehmomentenerfassungssystem umfaßt weiterhin eine Kombination eines Verstärkers 18, einer Filterschaltung 20 und einer Wellenformgestaltungsschaltung bzw. Signalverlaufformungsschaltung 22, die die Positionssignale Sw über die Magnetköpfe eins bis drei 14a, 14b und 14c wiedergibt, einer Phasendifferenzfassungsschaltung 24, die die Phasendifferenz Δt zwischen den Positionssignalen erfaßt, die durch den ersten und den zweiten Magnetkopf 14a und 14b wiedergegeben werden, einer Zeitdifferenzfassungsschaltung 26, die die Zeitdifferenz t zwischen den Positionssignalen erfaßt, die durch den ersten und den dritten Magnetkopf 14a und 14c wiedergegeben werden, und einer Drehmomentberechnungsschaltung 28, die den Winkel der Torsion Θ des Rotationselementes 10 auf der Basis des Winkels Θ_0 , der Phasendifferenz Δt und der Zeitdifferenz t berechnet und das auf das Rotationselement 10 wirkende Drehmoment T auf der Basis des Winkels der Torsion Θ berechnet.

Die Magnetschichten 12a und 12b können z. B. durch Aufbringen magnetischer Farbe, z. B. Farbe, die ausgebildet wird durch Verteilen von magnetischem Pulver

wie Ferrit in einem Harzbindemittel wie Epoxitharz, auf der äußeren Oberfläche des Rotationselementes 10 oder durch Plattieren einer Magnetschicht, etwa aus Kobalt, auf die äußere Oberfläche des Rotationselementes 10 gebildet sein.

Das Spiel bzw. die Zwischenräume zwischen den Magnetköpfen 14a, 14b und 14c und der äußeren Oberfläche des Rotationselementes 10 betragen etwa 10 µm.

Der Betrieb dieser Ausführungsform wird nachstehend beschrieben.

Während sich das Rotationselement 10 unbelastet dreht, erzeugt die Aufzeichnungsschaltung 16 ein vorbestimmtes Impulssignal und schickt es gleichzeitig an den ersten und den zweiten Magnetkopf 14a und 14b, wodurch Positionssignale (magnetische Muster) derselben Phase auf den Magnetschichten 12a und 12b aufgezeichnet werden. Die Positionssignale müssen nicht in gleichmäßigen Intervallen in Umfangsrichtung des Rotationselementes 10 aufgezeichnet werden, sondern können mit jeglichen Intervallen aufgezeichnet werden, solange jedes Intervall breiter ist als ein Raum bzw. ein Abstand, der durch den Winkel Θ_0 zwischen dem ersten und dem dritten Magnetkopf 14a und 14c bestimmt ist. Obwohl das Positionssignal theoretisch ein einzelner Impuls sein kann, ist es oder besteht es vorzugsweise aus einer Anzahl von Impulsen, die in regelmäßigen Intervallen unter Berücksichtigung der Abtastzeit bei der darauffolgenden Berechnung des Drehmomentes, der Erfassungsgenauigkeit, der Rotationsgeschwindigkeit des Rotationselementes 10 und dergleichen aufgezeichnet werden.

In dem unbelasteten Zustand sind die wiedergegebenen Signale Sa1 und Sb1, erhalten durch Wiedergeben der auf den magnetischen Schichten 12a und 12b aufgezeichneten Positionssignale über den ersten und den zweiten Magnetkopf 14a und 14b, phasengleich, wie es in Fig. 2 gezeigt ist.

Wenn andererseits die Positionssignale auf den Magnetschichten 12a und 12b über den ersten und den zweiten Magnetkopf 14a und 14b wiedergegeben werden, während sich das Rotationselement 10 unter einer Belastung (Drehmoment) dreht, haben die wiedergegebenen Signale Signalverläufe, die eine Phasendifferenz Δt relativ zueinander zeigen, wie es in Fig. 3 zu sehen ist. Weiterhin hat das wiedergegebene Signal Sc1, welches erhalten wird durch Wiedergeben des auf der Magnetschicht 12a aufgezeichneten Positionssignals über den dritten Magnetkopf 14c, einen Signalverlauf, der eine Zeitdifferenz t relativ zu dem wiedergegebenen Signal Sa1 aufweist, wie es in Fig. 3 gezeigt ist. Die wiedergegebenen Signale Sa1, Sb1 und Sc1 werden in den Verstärker 18 eingegeben, um darin verstärkt zu werden, und dann werden hochfrequente Rauschkomponenten in der Filterschaltung 20 entfernt. Hiernach werden sie der Signalverlaufformungsschaltung 22 eingegeben und in Rechtecksignale Sa2, Sb2 und Sc2 umgewandelt. Die Rechtecksignale Sa2 und Sb2, die erhalten werden aus den Signalen Sa1 und Sb1, die durch den ersten und den zweiten Magnetkopf 14a und 14b wiedergegeben sind, werden in die Phasendifferenzfassungsschaltung 24 eingegeben. Die Rechtecksignale Sa2 und Sc2, die erhalten werden aus den Signalen Sa1 und Sc1, die durch den ersten und den dritten Magnetkopf 14a und 14c wiedergegeben werden, werden in die Zeitdifferenzfassungsschaltung 26 eingegeben. Die Phasendifferenz Δt zwischen den Rechtecksignalen Sa2 und Sb2 wird durch die Phasendifferenzfassungsschaltung 24 erfaßt und ein Erfassungssignal S3, welches die Phasendifferenz Δt

darstellt, wird an die Drehmomentberechnungsschaltung 28 gesendet. Die Zeitdifferenz t zwischen den Rechtecksignalen Sa2 und Sc2 wird durch die Zeitdifferenzfassungsschaltung 26 erfaßt und ein Erfassungssignal S4, welches die Zeitdifferenz t darstellt, wird an die Drehmomentberechnungsschaltung 28 gesendet.

Die Drehmomentberechnungsschaltung 28 berechnet den Winkel der Torsion Θ des Rotationselementes 10 auf der Basis des Winkels Θ_0 , der Phasendifferenz Δt und der Zeitdifferenz t gemäß der folgenden Formel (2) und berechnet das Drehmoment T , welches auf das Rotationselement 10 wirkt, auf der Basis des Winkels der Torsion Θ gemäß der folgenden Formel (3).

$$\Theta = (\Delta t / t) \cdot \Theta_0 \quad (2)$$

$$T = \pi^2 G d^4 \cdot \Theta / 64 L \quad (3)$$

wobei G das Quer- bzw. Stirnmodul darstellt, d den Durchmesser des Rotationselementes 10 darstellt und L die Entfernung zwischen dem ersten und dem zweiten Magnetkopf 14a und 14b darstellt.

Gemäß der Formel (2) wird der Zeitfaktor durch den Ausdruck $(\Delta t / t)$ ausgelöscht. Demgemäß kann der Winkel der Torsion Θ ohne Fehler erfaßt werden, selbst wenn die Positionssignale nicht als genau periodische Signale aufgezeigt werden. D.h., das Drehmoment kann auf der Basis des Winkels Θ_0 zwischen dem ersten und dem dritten Magnetkopf 14a und 14c erfaßt werden, ohne durch die Rotationsgeschwindigkeit des Rotationselementes 10 oder eine Schwankung derselben bei der Aufzeichnung beeinflusst zu werden.

Wie es sich aus der obigen Beschreibung ergibt, ist erfindungsgemäß ein Bearbeiten oder Oberflächenbehandeln des Rotationselementes 10 oder eines zusätzlichen mechanischen Teiles wie eines Schlupfringes nicht erforderlich.

Demgemäß kann das Drehmomenterfassungssystem dieser Ausführungsform klein sein und einfach in seinem Aufbau und kann das Drehmoment ohne Erfassungsfehler aufgrund von Montagefehlern oder Alterungsercheinungen erfassen. Selbst wenn die relativen Positionen des ersten und des zweiten Magnetkopfes 14a und 14b sich graduell bzw. allmählich aufgrund von Resttorsionsbelastungen des Rotationselementes 10 verändern, kann dies leicht durch neues Schreiben der Positionssignale kompensiert werden.

Obwohl in der ersten Ausführungsform der erste und der zweite Magnetkopf 14a und 14b miteinander in axialer Richtung des Rotationselementes 10 ausgerichtet sind, können sie voneinander in umfänglicher Richtung des Rotationselementes 10 winkelmäßig versetzt sein.

Obwohl in dieser besonderen Ausführungsform die Positionssignale, die auf der ersten und der zweiten Magnetschicht 12a und 12b aufgezeichnet werden, phasengleich sind, können sie unterschiedliche Phasen haben.

Obwohl in der ersten Ausführungsform die erste und die zweite Magnetschicht 12a und 12b separat ausgebildet sind, können sie einstückig ausgebildet werden.

Wenn das Rotationselement 10 selbst aus magnetischem Material wie einem Konstruktionsstahl S45C ausgebildet ist, müssen die Magnetschichten 12a und 12b nicht ausgebildet werden und die Positionssignale können direkt auf dem Rotationselement 10 aufgezeichnet werden.

Obwohl jeder der Magnetköpfe 14a bis 14c ein gewöhnlicher Magnetkopf sein kann, der einen Kern mit

einem einzelnen Spalt 32 und eine Wicklung 36 aufweist, wie es in Fig. 4 gezeigt ist, kann ein Mehrspalt-Magnetkopf 40 mit einem Paar von Spalten 38a und 38c, wie es in Fig. 5 gezeigt ist, als der erste und der dritte Magnetkopf 14a und 14c verwendet werden. Der Mehrspalt-Magnetkopf 40 hat eine Abschirmungsplatte 42 zwischen den Spalten 38a und 38c. Der Raum bzw. Abstand W zwischen den Spalten 38a und 38c ist etwa 200 µm. Der Mehrspalt-Magnetkopf 40 wird verwendet, wie es in Fig. 6 gezeigt ist. Das Bezugszeichen S gibt ein über den Spalt 38a aufgezeichnetes Positionssignal an. Wie es aus Fig. 6 zu sehen ist, ist der Winkel Θ_0 zwischen den Spalten 38a und 38c durch die folgende Formel gegeben.

$$\Theta_0 = 2 \tan^{-1}(W/d)$$

Unter Verwendung eines solchen Mehrspalt-Magnetkopfes kann die Zeitdifferenz t leicht erfaßt werden und das Drehmomenterfassungssystem kann kleiner aufgebaut werden. In dem Mehrspalt-Magnetkopf 40 kann der Abstand W zwischen den Spalten 38a und 38c hinreichend klein relativ zu dem Durchmesser d des Rotationselementes 10 sein und kann mit einer hohen Genauigkeit in der Größenordnung von µm gesteuert werden.

Demgemäß kann das auf das Rotationselement 10 wirkende Drehmoment T mit einem minimalen Montagefehler genau erfaßt werden. Obwohl der Mehrspalt-Magnetkopf 40, der in Fig. 5 gezeigt ist, vom sogenannten Drei-in-eins-Typ mit einer Abschirmungsplatte zwischen den zwei Spalten ist, kann ein sogenannter Mehrspalt-Magnetkopf 40' vom Zwei-Spalt-Typ ohne Abschirmplatte auch verwendet werden, wie er in Fig. 7 gezeigt ist.

Eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nachstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 8 bis 10 beschrieben.

Vorzugsweise werden die auf der ersten Magnetschicht 12a aufgezeichneten Positionssignale mit regelmäßigen Intervallen und in so großer Anzahl wie möglich aufgezeichnet, wie oben beschrieben. Die Intervalle, mit denen die Positionssignale aufgezeichnet werden, sollten größer sein als der Winkel Θ_0 zwischen dem ersten und dem dritten Magnetkopf 14a und 14c, um die Zeitdifferenz t korrekt zu erfassen.

Zu diesem Zweck hat das Drehmomenterfassungssystem dieser Ausführungsform eine Rotationsgeschwindigkeitserfassungsschaltung 52 zum Erfassen der Rotationsgeschwindigkeit V des Rotationselementes 10, wie es in Fig. 8 gezeigt ist, und zwar zusätzlich zu den Elementen der ersten Ausführungsform, die in Fig. 1 gezeigt ist. Weiterhin ist die Aufzeichnungsschaltung 16 bei dieser Ausführungsform ausgelegt, die Eigenschaften der auf der ersten Magnetschicht 12a aufgezeichneten Positionssignale gemäß der Rotationsgeschwindigkeit V des Rotationselementes 10 derart zu verändern, daß das Drehmoment mit einer hohen Genauigkeit erfaßt werden kann, ohne durch Schwankungen der Rotationsgeschwindigkeit des Rotationselementes 10 beeinflusst zu werden.

D.h., die Aufzeichnungsschaltung 16 gibt ein Referenzsignal Sw' in der Form eines einzelnen Impulssignals aus, wie es in Fig. 9 gezeigt ist, und zwar an den ersten Magnetkopf 14a, während sich das Rotationselement 10 unbelastet dreht, und zeichnet das Referenzsignal Sw' auf der ersten Magnetschicht 12a über den ersten Magnetkopf 14a auf. Zur selben Zeit wird das

Referenzsignal Sw' auch an die Rotationsgeschwindigkeitserfassungsschaltung ausgegeben. In der Rotationsgeschwindigkeitserfassungsschaltung 52 beginnt ein Zeitmeßzähler in Antwort auf den Eingang des Referenzsignals Sw' zu zählen. Das auf der ersten Magnetschicht 12a aufgezeichnete Referenzsignal Sw' wird durch den dritten Magnetkopf 14c wiedergegeben, wenn sich das Rotationselement 10 dreht, und das in Fig. 9 gezeigte wiedergegebene Signal SR' wird der Rotationsgeschwindigkeitserfassungsschaltung 52 eingegeben.

Der Zeitmeßzähler hält in Antwort auf die Eingabe des wiedergegebenen Signals SR' an und mißt die Zeit t_0 , die das Rotationselement 10 braucht, um durch den Winkel Θ_0 zwischen dem ersten und dem dritten Magnetkopf 14a und 14c zu drehen. Dann berechnet die Rotationsgeschwindigkeitserfassungsschaltung 52 die Rotationsgeschwindigkeit V des Rotationselementes 10 gemäß der Formel

$$V = \Theta_0 \cdot d/2t_0 \quad (\Theta_0 \text{ in Radian}) \quad (4)$$

und gibt an die Aufzeichnungsschaltung 16 ein Rotationsgeschwindigkeitssignal aus, welches die Rotationsgeschwindigkeit V des Rotationselementes 10 darstellt.

Die Aufzeichnungsschaltung 16 löscht zunächst das Referenzsignal Sw' durch den ersten Magnetkopf 14a und zeichnet eine Vielzahl von Positionssignalen Sw (n_1 bis n_{12}) auf der ersten und der zweiten Magnetschicht 12a und 12b mit derselben Phase über den ersten und den zweiten Magnetkopf 12a und 12b auf, wie es in Fig. 10 gezeigt ist. Die Aufzeichnungsschaltung 16 bestimmt die Intervalle l (periodisch), die Impulsbreite W und die Signalintensität H der Positionssignale Sw gemäß dem Rotationsgeschwindigkeitssignal und der Zahl der Impulse n, die für eine Umdrehung des Rotationselementes 10 aufzuzeichnen sind ($n = 12$ bei dieser besonderen Ausführungsform).

Auf diese Weise können wiedergegebene Signale Sa1 und Sb1, die ähnlich zu jenen sind, die in Fig. 2 gezeigt sind, erhalten werden, während sich das Rotationselement 10 unbelastet dreht, wie es in Fig. 10 gezeigt ist.

Dann wird das Drehmoment T auf das Rotationselement 10 auf dieselbe Weise berechnet wie in der ersten Ausführungsform.

Durch Bestimmen des Intervalls l (periodisch) der Positionssignale Sw und der Zahl der Impulse n, die für eine Umdrehung des Rotationselementes 10 aufzuzeichnen sind, und zwar unter Erfüllung der folgenden Formeln, können die Intervalle der Positionssignale Sw, wie auf dem Rotationselement 10 aufgezeichnet, nicht schmaler sein als der Winkel Θ_0 zwischen dem ersten und dem dritten Magnetkopf 14a und 14b und die Zeitdifferenz t kann unabhängig von der Rotationsgeschwindigkeit des Rotationselementes 10 korrekt erfaßt werden.

$$l > \Theta_0 \cdot d/2V (= t_0)$$

$$n < 2\pi/\Theta_0$$

Wie es aus der obigen Beschreibung zu verstehen ist, kann bei dieser Ausführungsform, da die Intervalle l (periodisch) der Positionssignale Sw gemäß der Rotationsgeschwindigkeit V des Rotationselementes 10 so bestimmt werden, daß sie nicht kleiner sind als die Entfernung zwischen dem ersten und dem dritten Magnetkopf 14a und 14b, das Drehmoment mit einer hohen

Genauigkeit unabhängig von der Drehung des Rotationselementes 10 korrigiert bzw. berechnet werden. Da die Impulsbreite W und die Signalintensität H weiterhin gemäß der Rotationsgeschwindigkeit V des Rotationselementes 10 bestimmt werden, können sie geeignet eingestellt werden, und zwar unabhängig von der Drehung des Rotationselementes 10, und eine Deformation bzw. Veränderung der wiedergegebenen Signale kann vermieden werden.

Obwohl in dieser Ausführungsform das Referenzsignal Sw' in der Form eines einzelnen Impulses ausgebildet ist, kann es eine Vielzahl von Impulssignalen oder ein kontinuierliches Wellensignal aufweisen. Im letzteren Fall wird die Frequenz des wiedergegebenen Signals als die Referenz verwendet.

Obwohl in der zweiten Ausführungsform die Rotationsgeschwindigkeitserfassungsschaltung 52 mit dem ersten und dem dritten Magnetkopf 14a und 14c des Drehmomenterfassungssystems verbunden ist, kann die Rotationsgeschwindigkeitserfassungsschaltung getrennt von dem Drehmomenterfassungssystem vorgesehen werden, wie es in Fig. 11 gezeigt ist.

In Fig. 11 umfaßt ein Rotationsgeschwindigkeitserfassungssystem 62 eine ringförmige Magnetschicht 112, die auf der Umfangsoberfläche des Rotationselementes 10 vorgesehen ist, und zwar zusätzlich zu den Magnetschichten 12a und 12b des Drehmomenterfassungssystems (obwohl das Drehmomenterfassungssystem in Fig. 11 nicht gezeigt ist), einen vierten und einen fünften Magnetkopf 114d und 114e, die der Magnetschicht 12 gegenüberstehen und voneinander in umfänglicher Richtung des Rotationselementes 10 um einen vorbestimmten Winkel $\Theta 1$ winkelmäßig voneinander beabstandet sind, eine Aufzeichnungsschaltung 116, die ein Referenzsignal $Sd1$ auf der Magnetschicht 112 über den vierten Magnetkopf 114d aufzeichnet, eine Kombination eines Verstärkers 118, einer Filterschaltung 120 und einer Signalverlaufformungsschaltung 122, die das Referenzsignal $Sd1$ als reproduzierte Signale $Sd2$ und $Se2$ über den vierten und fünften Magnetkopf 114d und 114e wiedergibt, einer Zeitdifferenzerfassungsschaltung 126, die die Zeitdifferenz t_0 zwischen den wiedergegebenen Signalen erfaßt, und einer Rotationsgeschwindigkeitserfassungsschaltung 64, die die Rotationsgeschwindigkeit V auf der Basis des Winkels $\Theta 1$ und der Zeitdifferenz t_0 berechnet.

Die Aufzeichnungsschaltung 116, der Verstärker 118, die Filterschaltung 120, die Signalverlaufformungsschaltung 122 und die Zeitdifferenzerfassungsschaltung 126 sind bezüglich Anordnung und Funktion ähnlich zu jenen in der ersten Ausführungsform und werden hier nicht beschrieben. Die Zeitdifferenzerfassungsschaltung 126 und die Rotationsgeschwindigkeitsberechnungsschaltung 64 sind in den Fig. 12 bzw. 13 gezeigt.

Das wiedergegebene Signal $Sd2$, welches durch den vierten Magnetkopf 114d wiedergegeben ist und in der Form eines Rechtecksignals vorliegt, wird in einen Setzanschluß eines Flip-Flops 76 der Rotationsgeschwindigkeitserfassungsschaltung 126 eingegeben, die in Fig. 12 gezeigt ist. Das wiedergegebene Signal $Se2$, welches durch den fünften Magnetkopf 114e wiedergegeben ist und in der Form eines Rechtecksignals vorliegt, wird in einen Rücksetzanschluß des Flip-Flops 76 eingegeben. Der Ausgangsanschluß des Flip-Flops 76 ist mit einem Setzanschluß eines weiteren Flip-Flops 78 verbunden und der Q-Anschluß des Flip-Flops 78 ist mit einem der Eingangsanschlüsse einer UND-Schaltung 80 verbunden. Ein 10 MHz-Referenztakt, der durch einen Taktos-

zillator 66 erzeugt ist, wird in den anderen Eingangsanschluß der UND-Schaltung 80 eingegeben. Der Ausgangsanschluß der UND-Schaltung 80 ist mit einem Taktanschluß eines Zählers 70 verbunden. Der Zähler 70 zählt die Zeitdifferenz t_0 zwischen den Signalen $Sd2$ und $Se2$ mit dem Referenztakt und gibt das Ergebnis des Zählens an die Rotationsgeschwindigkeitserfassungsschaltung 64 in der Form von parallelen 12 bit-Signalen aus.

Das Rotationsgeschwindigkeitserfassungssystem erfaßt die Rotationsgeschwindigkeit V des Rotationselementes 10 auf die Weise, wie es in Fig. 13 gezeigt ist.

Ein Mikrocomputer 68 der Rotationsgeschwindigkeitsberechnungsschaltung 64 führt zuerst eine Initialisierung aus und gibt ein Zählstartsignal START an den Zähler 70 der Zeitdifferenzerfassungsschaltung 126 aus. Der Zähler 70 wird durch das Zählstartsignal START gesetzt und beginnt die Zeitdifferenz t_0 zwischen den Signalen $Sd2$ und $Se2$ zu zählen. Der Mikrocomputer 68 wartet auf ein Zählstoppsignal STOP von dem Zähler 70 und liest die Zeitdifferenz t_0 über eine Schnittstelle 1G 72 in Antwort auf den Empfang des Zählstoppsignals STOP und berechnet dann die Rotationsgeschwindigkeit V auf der Basis der Zeitdifferenz t_0 gemäß der oben in Zusammenhang mit der zweiten Ausführungsform beschriebenen Formel (4).

Hiernach transferiert der Mikrocomputer 68 das Ergebnis der Berechnung an einen D/A-Wandler 70, der die Rotationsgeschwindigkeit V als ein Analogsignal ausgibt. Dann gibt der Mikrocomputer 68 das Zählstartsignal START erneut aus, um den oben beschriebenen Betrieb zu wiederholen.

Nun wird eine dritte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezug auf die Fig. 15 bis 19 beschrieben.

In der ersten und der zweiten Ausführungsform sind die Positionssignale Sw , die über den ersten und den zweiten Magnetkopf 14a und 14b auf der ersten und der zweiten Magnetschicht 12a und 12b aufgezeichnet sind, phasengleich. Sie müssen jedoch nicht phasengleich sein, sondern es ist von Vorzug, daß das Positionssignal Sw , welches durch den zweiten Magnetkopf 12b aufgezeichnet ist, in der Phase um eine vorbestimmte Zeit relativ zu dem Positionssignal Sw verzögert ist, welches durch den ersten Magnetkopf 12a aufgezeichnet ist.

D.H., wenn die Positionssignale Sw , die auf der ersten und der zweiten Magnetschicht 12a und 12b aufgezeichnet sind, phasengleich bzw. -verschieden sind, verzögern sich die wiedergegebenen Signale $Sb1$ von dem zweiten Magnetkopf 14b um eine Phasendifferenz Δt relativ zu dem von dem ersten Magnetkopf 14a wiedergegebenen Signalen $Sa1$, solange ein positives Drehmoment auf das Rotationselement 10 wirkt, wie es in Fig. 16 gezeigt ist. Die Phasenverzögerung ist hinreichend klein relativ zu der Verzögerung (um einen Betrag entsprechend zu der Zeitdifferenz t) der Phase der von dem dritten Magnetkopf 14c wiedergegebenen Signale $Sc1$ relativ zu den von dem ersten Magnetkopf 14a wiedergegebenen Signalen $Sa1$. Demgemäß kann, solange ein positives Drehmoment auf das Rotationselement 10 wirkt, eine korrekte Kombination der wiedergegebenen Signale $Sa1$, $Sb1$ und $Sc1$ erhalten werden durch Auswählen der Signale auf der Basis der wiedergegebenen Signale $Sa1$, wenn sich das Rotationselement 10 in der regulären Richtung dreht, und auf der Basis der wiedergegebenen Signale $Sc1$, wenn sich das Rotationselement 10 in die entgegengesetzte Richtung dreht. Wenn jedoch ein negatives Drehmoment auf das Rotationselement 10 wirkt, gehen

die wiedergegebenen Signale Sb1 relativ zu den wiedergegebenen Signalen Sa1 um die Zeitdifferenz t vor, wie es in Fig. 17 gezeigt ist, und demgemäß, wenn die Signale auf die oben beschriebene Weise ausgewählt werden, kann eine korrekte Kombination der wiedergegebenen Signale Sa1, Sb1 und Sc1 nicht erhalten werden.

Bei dieser Ausführungsform wird eine Verzögerungsschaltung 54 zusätzlich zu den Elementen der zweiten Ausführungsform, die in Fig. 8 gezeigt ist, vorgesehen und die über den zweiten Magnetkopf 14b aufgezeichneten Positionssignale werden absichtlich um eine vorbestimmte Zeit Δt_0 relativ zu den Positionssignalen phasenverzögert, die durch den ersten Magnetkopf 14a aufgezeichnet sind, so daß die wiedergegebenen Signale Sb1 um eine vorbestimmte Zeit Δt_0 relativ zu den wiedergegebenen Signalen Sa1 phasenverzögert sind, während sich das Rotationselement 10 unbelastet dreht. Bei dieser Anordnung kann eine korrekte Kombination der wiedergegebenen Signale Sa1, Sb1 und Sc1 unabhängig davon erhalten werden, ob das auf das Rotationselement 10 wirkende Drehmoment positiv oder negativ ist.

Fig. 18 zeigt die Erfassungszeit der wiedergegebenen Signale Sa1, Sb1 und Sc1, während sich das Rotationselement 10 bei dieser Ausführungsform unbelastet dreht. D.H., da die Positionssignale auf der zweiten Magnetschicht 12b relativ zu den Positionssignalen auf der ersten Magnetschicht 12a um Δt_0 bei der Aufzeichnung phasenverzögert sind, liegen die wiedergegebenen Signale Sb1 immer zwischen den wiedergegebenen Signalen Sa1 und Sc1, und zwar unabhängig davon, ob sich das Rotationselement 10 belastet oder unbelastet dreht.

Demgemäß kann bestimmt werden, daß die Kombination der wiedergegebenen Signale nur korrekt ist, wenn ein wiedergegebenes Signal Sb1 erfaßt wird, nachdem ein wiedergegebenes Signal Sa1 erfaßt wird (oder ein wiedergegebenes Signal Sc1 in Abhängigkeit von der Drehrichtung des Rotationselementes 10).

Wenn die Zeit Δt_0 jedoch ein festgelegter Wert ist, kann das wiedergegebene Signal Sb1, das einem gegebenen wiedergegebenen Signal Sa1 entspricht, nach dem wiedergegebenen Signal Sa1, welches nächst dem gegebenen wiedergegebenen Signal Sa1 liegt, erfaßt werden, wie es in Fig. 19 gezeigt ist, wenn die Rotationsgeschwindigkeit V des Rotationselementes 10 ansteigt und die Ausgangsperioden der wiedergegebenen Signale Sa1, Sb1 und Sc1 über eine vorbestimmte Grenze verkürzt werden. Dies führt zu einer falschen Kombination der wiedergegebenen Signale.

Demgemäß wird bei dieser Ausführungsform die Zeit Δt_0 gemäß der Rotationsgeschwindigkeit V des Rotationselementes 10 verändert. Die Zeit Δt_0 muß nur kürzer sein als die Ausgangsperiode der wiedergegebenen Signale Sa1, es ist jedoch von Vorzug, daß die Zeit Δt_0 so eingestellt wird, daß die wiedergegebenen Signale Sb1 immer zwischen den wiedergegebenen Signalen Sa1 und Sc1 liegen, d. h., die Zeit Δt_0 ist kürzer als die Zeitdifferenz t und größer als 0. Wenn die Zeit Δt_0 so eingestellt wird, kann bestimmt werden, daß die Kombination der wiedergegebenen Signale nur korrekt ist, wenn ein wiedergegebenes Signal Sb1 nach der Erfassung eines wiedergegebenen Signals Sa1 erfaßt wird (oder nach der Erfassung eines wiedergegebenen Signals Sc1 in Abhängigkeit von der Rotationsrichtung des Rotationselementes 10).

Bei dieser Ausführungsform wird ein Rotationsgeschwindigkeitssignal, welches die Rotationsgeschwindigkeit V darstellt, wie sie gemäß der Formel (4) berechnet ist, von der Rotationsgeschwindigkeitserfassungs-

schaltung 52 an die Verzögerungsschaltung 54 ausgegeben. Die Verzögerungsschaltung 54 bestimmt die Zeit Δt_0 auf der Basis des Rotationsgeschwindigkeitssignals und des Winkels Θ_0 und gibt das von der Aufzeichnungsschaltung 16 gegebene Positionssignal Sw nach einer Zeitverzögerung Δt_0 an den zweiten Magnetkopf 14b aus.

Wenn die Zeit Δt_0 auf die Hälfte der Zeitdifferenz ($\Delta t_0 = t/2$) eingestellt wird, kann der Erfassungsbereich der Phasendifferenz Δt gleichförmig sein, und zwar unabhängig davon, ob das auf das Rotationselement 10 wirkende Drehmoment positiv oder negativ ist. Die Zeit Δt_0 kann jedoch auch in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Rotationselementes 10 eingestellt werden. D.h., in dem Fall, bei dem das positive Drehmoment groß, das negative Drehmoment jedoch nicht groß sein kann, kann die Zeit Δt_0 so eingestellt werden, daß sie etwas kürzer ist als eine Hälfte der Zeitdifferenz t .

Nun wird eine vierte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die Fig. 20 bis 26 beschrieben.

Bei dieser Ausführungsform ist eine Vorzeichenbestimmungsschaltung 56, die die Richtung der Belastung (des Drehmomentes), das auf das Rotationselement 10 wirkt, bestimmt, zusätzlich zu den Elementen der dritten Ausführungsform vorgesehen, die in Fig. 15 gezeigt ist. Die Rechtecksignale Sa2 bis Sc2, die erhalten werden durch Formen der wiedergegebenen Signale Sa1 bis Sc1, die durch die Magnetköpfe eins bis drei 14a bis 14c wiedergegeben sind, werden der Vorzeichenbestimmungsschaltung 56 eingegeben. Der Ausgang der Vorzeichenbestimmungsschaltung 56 wird der Drehmomentberechnungsschaltung 28 als ein Vorzeichenbestimmungsflag F eingegeben.

Fig. 21 zeigt ein Beispiel der Vorzeichenbestimmungsschaltung 56 und die Fig. 22 bis 24 sind Zeitdiagramme zum Erläutern des Betriebs der Vorzeichenbestimmungsschaltung 56. Die Vorzeichenbestimmungsschaltung 56 umfaßt drei Flip-Flops 82, 84 und 86, einen Taktoszillator 88, ein Paar von UND-Schaltungen 90 und 92, vier Inverter 94, 96, 98 und 100 und einen Aufwärts/Abwärtszähler 102.

Bei dieser Ausführungsform setzt die Verzögerungsschaltung 54 die Verzögerungszeit Δt_0 auf die Hälfte der Zeitdifferenz t zwischen den wiedergegebenen Signalen Sa1 und Sc1, die durch den ersten und den dritten Magnetkopf 14a und 14c wiedergegeben werden. Während sich das Rotationselement 10 unbelastet dreht, ist die Beziehung bzw. Relation der wiedergegebenen Signale Sa1 bis Sc1 und der Rechtecksignale Sa2 bis Sc1 so wie es in Fig. 22 gezeigt ist und die Phasendifferenz Δt_{12} zwischen den wiedergegebenen Signalen Sa1 und Sb1 und die Phasendifferenz Δt_{23} zwischen den wiedergegebenen Signalen Sb1 und Sc1 ist gleich der Verzögerungszeit Δt_0 , die gleich der Hälfte der Zeitdifferenz t ist.

Das Rechtecksignal Sa2 wird an einen Setzanschluß des Flip-Flops 82 (Fig. 21) über die Inverter-Schaltung 94 angelegt und das Rechtecksignal Sb2 wird an einen Rücksetzanschluß des Flip-Flops 82 und einen Setzanschluß des Flip-Flops 84 über den Inverter 96 angelegt. Weiterhin wird das Rechtecksignal Sc2 an einen Rücksetzanschluß des Flip-Flops 84 über den Inverter 98 angelegt.

Der Ausgang des Flip-Flops 82 wird der UND-Schaltung 92 zusammen mit dem Ausgang des Taktoszillators 88 zugeführt und der Ausgang der UND-Schaltung 90 wird einem Aufwärtszählanschluß des Zählers 102 zuge-

führt. Der Ausgang des Flip-Flops 84 wird der UND-Schaltung 92 zusammen mit dem Ausgang des Taktoszillators 88 zugeführt und der Ausgang der UND-Schaltung 92 wird einem Abwärtszählschluß des Zählers 102 zugeführt.

Weiterhin wird das Rechtecksignal Sa2 an einen Rücksetzanschluß des Zählers 102 und einen Rücksetzanschluß des Flip-Flops 86 über die Inverter-Schaltung 100 angelegt und ein Übertrag (borrow)-Signalausgang des Zählers 102 wird an einem Setzanschluß des Flip-Flops 86 angelegt.

Wenn das Rechtecksignal Sa2 in die Vorzeichenbestimmungsschaltung 56 eingegeben wird, werden der Zähler 102 und das Flip-Flop 86 zurückgesetzt und zur selben Zeit beginnt der Zähler 102 sofort mit dem Aufwärtszählen. Wenn darauffolgend das Rechtecksignal Sb2 eingegeben wird, wird das Zählen des Zählers 102 auf das Abwärtszählen umgesetzt und das Abwärtszählen wird in Antwort auf die darauffolgende Eingabe des Rechtecksignals Sc2 beendet.

Demgemäß sind im unbelasteten Zustand Δt_{12} , Δt_{23} und Δt_0 gleich und es wird kein Übertragungssignal von dem Zähler 102 ausgegeben, wie in Fig. 22 gezeigt, wodurch das Flip-Flop 86 zurückgesetzt bleibt und das Vorzeichenbestimmungsflag F 0 bleibt.

Wenn ein negatives Drehmoment auf das Rotationselement 10 wirkt, sind die Werte von Δt_{12} , Δt_{23} und Δt_0 in dieser Reihenfolge größer werdend ($\Delta t_{12} < \Delta t_{23} < \Delta t_0$) und der Wert des Zählers 102 ist negativ, wodurch das Übertragungssignal erzeugt wird, um das Flip-Flop 86 zu setzen und das Vorzeichenbestimmungsflag F auf eins zu setzen. Daß das Vorzeichenbestimmungsflag F gleich eins ist, stellt dar, daß das Drehmoment auf das Rotationselement 10 negativ ist.

Wenn andererseits ein positives Drehmoment auf das Rotationselement 10 wirkt, sind die Werte von Δt_{12} , Δt_{23} und Δt_0 absteigend in dieser Reihenfolge ($\Delta t_{12} > \Delta t_{23} > \Delta t_0$) und der Wert des Zählers 102 ist positiv, wodurch kein Übertragungssignal erzeugt wird. Demgemäß bleibt das Flip-Flop 86 zurückgesetzt und das Vorzeichenbestimmungsflag F bleibt auf 0. Daß das Vorzeichenbestimmungsflag F 0 ist, stellt dar, daß das auf das Rotationselement 10 wirkende Drehmoment positiv ist.

Die Drehmomentberechnungsschaltung 28 berechnet den Winkel der Torsion Θ auf der Basis der Phasendifferenz Δt (gleich dem absoluten Wert der Differenz zwischen Δt_{12} und Δt_0), der Zeitdifferenz t , des Winkels Θ_0 und des Vorzeichenbestimmungsflags F aus der Vorzeichenbestimmungsschaltung 56 gemäß der folgenden Formel.

$$\Theta = K \cdot (\Delta t/t) \cdot \Delta \Theta \quad (5)$$

wobei K ist gleich -1, wenn das Vorzeichenbestimmungsflag F gleich 1 ist, und ist gleich +1, wenn das Vorzeichenbestimmungsflag 0 ist. Dann berechnet die Drehmomentberechnungsschaltung 28 das Drehmoment T, welches auf das Rotationselement 10 wirkt, auf der Basis des Winkels der Torsion Θ gemäß der zuvor genannten Formel (2).

Wie es aus der obigen Beschreibung zu verstehen ist, kann nicht nur die Größe des Drehmomentes auf das Rotationselement 10 sondern auch dessen Richtung mit einer hohen Genauigkeit erfaßt werden.

Obwohl in dieser Ausführungsform die Verzögerungszeit Δt_0 gleich $t/2$ gesetzt ist, muß dies nicht so sein, solange der anfängliche Wert des Zählers 102 so eingestellt ist, daß er der eingestellten Verzögerungszeit

Δt_0 entspricht. Bei dieser Ausführungsform ist der anfängliche Wert des Zählers 102 auf 0 gestellt.

Nunmehr wird eine fünfte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die Fig. 25 bis 27 beschrieben.

Um einen Fehler bei der Berechnung des Drehmomentes durch die Drehmomentberechnungsschaltung 28 bei der ersten Ausführungsform zu verhindern, müssen die Phasendifferenz Δt , die durch die Phasendifferenzfassungsschaltung 24 erfaßt wird, und die Zeitdifferenz t , die durch die Zeitdifferenzfassungsschaltung 26 erfaßt wird, richtig eins zu eins kombiniert werden. Im Ergebnis kann gemäß der ersten Ausführungsform das auf das Rotationselement 10 wirkende Drehmoment nur erfaßt werden, wenn eine Last in einer bestimmten Richtung wirkt, die durch die relative Position zwischen dem ersten und dem dritten Magnetkopf 14a und 14c bestimmt ist.

Bei dieser Ausführungsform ist eine Zählersteuerschaltung 30 zusätzlich zu den Elementen der ersten Ausführungsform vorgesehen. Die wiedergegebenen Signale Sa1 bis Sc1 und die Rechtecksignale Sa2 bis Sc2 werden der Zählersteuerschaltung 30 eingegeben. Die Zählersteuerschaltung 30 steuert die Zähler der Phasendifferenzfassungsschaltung 24 und der Zeitdifferenzfassungsschaltung 26 synchron mit einem der wiedergegebenen Signale Sa1 bis Sc1, welches zuerst erfaßt wird, und mit einem von demselben, das zuletzt erfaßt wird.

Der Betrieb des Drehmomenterfassungssystems dieser Ausführungsform ist wie folgt.

Es wird zunächst angenommen, daß sich das Rotationselement 10 in der durch den Pfeil in Fig. 4 gezeigten Richtung dreht, d. h., von dem ersten Magnetkopf 14a zu dem dritten Magnetkopf 14c.

In diesem Fall gibt die Zählersteuerschaltung 30 ein Rücksetzsignal an die Phasendifferenzfassungsschaltung 24 und die Zeitdifferenzfassungsschaltung 26 synchron zu der Erfassung eines wiedergegebenen Signals Sc1 aus, wie es in Fig. 26 gezeigt ist, während sich das Rotationselement 10 unbelastet dreht. Bei dieser Verarbeitung kann, falls ein Zeitgabefehler auftritt, ein solcher durch das Rücksetzsignal gelöscht werden.

Wenn eine Belastung auf das Rotationselement 10 wirkt, so daß eine Torsion in dem Rotationselement 10 in Richtung des Pfeils in Fig. 25 (ein negatives Drehmoment) erzeugt wird, wird eine Phasendifferenz Δt zwischen den wiedergegebenen Signalen Sa1 und Sb1 erzeugt, wie es als Erfassungssignale S3 in Fig. 27 gezeigt ist. Weiterhin wird eine Zeitdifferenz t zwischen den wiedergegebenen Signalen Sa1 und Sc1 erzeugt, wie es als Erfassungssignale S4 in Fig. 27 gezeigt ist.

Die wiedergegebenen Signale Sa1, Sb1 und Sc1, die jeweils durch die Magnetköpfe eins bis drei 14a, 14b und 14c wiedergegeben werden, werden durch den Verstärker 18 verstärkt, und durch die Filterschaltung 20 der Signalverlaufformungsschaltung 22 eingegeben. Die Signalverlaufformungsschaltung 22 formt diese in Rechtecksignale Sa2, Sb2 und Sc2.

Die Rechtecksignale Sa2 und Sb2 werden der Phasendifferenzfassungsschaltung 24 eingegeben und die Rechtecksignale Sa2 und Sc2 werden der Zeitdifferenzfassungsschaltung 26 eingegeben. Weiterhin werden alle Rechtecksignale Sa2 bis Sc2 der Zählersteuerschaltung 30 eingegeben. Die Zählersteuerschaltung 30 erzeugt ein Zählersteuersignal S5 (Fig. 27) auf der Basis von einem der wiedergegebenen Signale Sa1 bis Sc1, und zwar jenem, welches zuerst erfaßt wird, und einem

von demselben, welches zuletzt erfaßt wird, und gibt es an die Phasendifferenzfassungsschaltung 24 und die Zeitdifferenzfassungsschaltung 26 aus.

Der Zähler der Phasendifferenzfassungsschaltung 24 arbeitet synchron zu dem Zählersteuersignal S5 und erfaßt die Phasendifferenz Δt zwischen den wiedergegebenen Signalen Sa1 und Sb1 (Erfassungssignal S3 in Fig. 27). Der Zähler der Zeitdifferenzfassungsschaltung 26 arbeitet synchron zu dem Zählersteuersignal S5 und erfaßt die Zeitdifferenz t zwischen den wiedergegebenen Signalen Sa1 und Sc1 (Erfassungssignal S4 in Fig. 27). Die Erfassungssignale S3 und S4 werden der Drehmomentberechnungsschaltung 28 eingegeben.

In der ersten Ausführungsform arbeitet die Phasendifferenzfassungsschaltung 24 synchron zu der Zeitdifferenz t zwischen den wiedergegebenen Signalen Sa1 und Sc1, wie es sich aus Fig. 3 ergibt, und demgemäß kann, wenn das wiedergegebene Signal Sb1 vor dem wiedergegebenen Signal Sa1 erfaßt wird, die Phasendifferenz Δt zwischen den wiedergegebenen Signalen Sa1 und Sb1 nicht erfaßt werden. Da andererseits bei dieser Ausführungsform das Phasendifferenzsignal S3 synchron zu dem Zählersteuersignal S5 ist, können die Phasendifferenz Δt und die Zeitdifferenz t sicher korrekt eins zu eins kombiniert werden.

Auch bei dieser Ausführungsform wird das Drehmoment T gemäß der Formel (3) berechnet.

Obwohl das Rotationselement 10 sich in der obigen Beschreibung in Richtung des Pfeils in Fig. 25 dreht, kann, wenn sich das Rotationselement 10 in der entgegengesetzten Richtung dreht, ein Erfassungsfehler aufgrund eines Zeitgabefehlers vermieden werden durch Ausgeben des Rücksetzsignals der Zählersteuerschaltung 30, und zwar unbelastet, synchron zu den wiedergegebenen Signalen Sa1. Obwohl weiterhin in der obigen Beschreibung der Betrieb des Drehmomentenerfassungssystems der fünften Ausführungsform in Verbindung mit einer Belastung in einer Richtung beschrieben worden ist, kann das Drehmoment mit hoher Genauigkeit unabhängig von der Richtung der auf das Rotationselement 10 wirkenden Belastung gemäß der fünften Ausführungsform erfaßt werden.

Nun wird eine sechste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezug auf die Fig. 28 bis 31 beschrieben.

Bei dieser Ausführungsform ist eine Vorzeichenbestimmungsschaltung 58, die die Richtung der Belastung auf das Rotationselement 10 auf der Basis der Erfassungszeitgabe bzw. der Erfassungszeitpunkte der wiedergegebenen Signale Sa1 und Sb1 bestimmt, zusätzlich zu den Elementen der fünften Ausführungsform vorgesehen, die in Fig. 25 gezeigt ist.

Die Rechtecksignale Sa2 und Sb2 werden der Vorzeichenbestimmungsschaltung 58 eingegeben und das von der Vorzeichenbestimmungsschaltung 58 ausgegebene Vorzeichenbestimmungsflag F wird der Drehmomentberechnungsschaltung eingegeben.

Wie es in Fig. 29 gezeigt ist, umfaßt die Vorzeichenbestimmungsschaltung 58 ein Flip-Flop 104 zum Ausgeben des Vorzeichenbestimmungsflags F und ein Paar von Invertern 106 und 108, die jeweils mit einem Paar von Eingangsanschlüssen des Flip-Flops 104 verbunden sind. Das Rechtecksignal Sa2 wird in einen Setzanschluß des Flip-Flops 104 über den Inverter 106 eingegeben und das Rechtecksignal Sb2 wird in einen Rücksetzanschluß des Flip-Flops 104 über den Inverter 108 eingegeben.

Nun wird der Betrieb der Vorzeichenbestimmungs-

schaltung 58 unter Bezug auf die Zeitdiagramme beschrieben, die in den Fig. 30 und 31 gezeigt sind.

Wenn ein negatives Drehmoment auf das Rotationselement 10 wirkt, wird das wiedergegebene Signal Sb1 vor dem wiedergegebenen Signal Sa1 erfaßt und demgemäß wird das Rechtecksignal Sb1 der Vorzeichenbestimmungsschaltung 58 vor dem Rechtecksignal Sa2 eingegeben. Demgemäß wird das Flip-Flop 104 zuerst durch das Rechtecksignal Sb2 zurückgesetzt und dann durch das Rechtecksignal Sa2 gesetzt, wodurch das Vorzeichenbestimmungsflag F mit dem Wert 1 an die Drehmomentberechnungsschaltung 28 ausgegeben wird.

Wenn andererseits ein positives Drehmoment auf das Rotationselement 10 wirkt, wird das wiedergegebene Signal Sa1 vor dem wiedergegebenen Signal Sb1 erfaßt und demgemäß wird das Rechtecksignal Sa2 der Vorzeichenbestimmungsschaltung 58 vor dem Rechtecksignal Sb2 eingegeben. Demgemäß wird das Flip-Flop 104 zuerst durch das Rechtecksignal Sa2 gesetzt und dann durch das Rechtecksignal Sb2 zurückgesetzt, wodurch das Vorzeichenbestimmungsflag F mit dem Wert 0 an die Drehmomentberechnungsschaltung 28 ausgegeben wird.

Die Drehmomentberechnungsschaltung 28 berechnet den Winkel der Torsion Θ gemäß der Formel (5) und berechnet das Drehmoment T auf das Rotationselement 10 gemäß der Formel (3).

Patentansprüche

1. Drehmomenterfassungssystem zum Erfassen eines auf ein Rotationselement (10) wirkenden Drehmomentes (T), mit
 - einem ersten Magnetkopf (14a), der nahe der Umfangsoberfläche des Rotationselementes (10) angeordnet ist und einem ersten magnetischen Aufzeichnungsabschnitt (12a) gegenübersteht, der auf der Umfangsoberfläche des Rotationselementes (10) vorgesehen ist,
 - einem zweiten Magnetkopf (14b), der nahe der Umfangsoberfläche des Rotationselementes (10) angeordnet ist und einem zweiten magnetischen Aufzeichnungsabschnitt (12b) gegenübersteht, der auf der Umfangsoberfläche des Rotationselementes (10) vorgesehen ist, wobei der zweite Magnetkopf (14b) von dem ersten Magnetkopf (14a) um eine vorbestimmte Entfernung (L) in Längsrichtung des Rotationselementes (10) beabstandet ist,
 - einem dritten Magnetkopf (14c), der nahe der Umfangsoberfläche des Rotationselementes (10) angeordnet ist und dem ersten magnetischen Aufzeichnungsabschnitt (12a) gegenübersteht, wobei der dritte Magnetkopf (14c) von dem ersten Magnetkopf (14a) um einen vorbestimmten Winkel Θ_0 in umfänglicher Richtung des Rotationselementes (10) winkelmäßig beabstandet ist,
 - einer Aufzeichnungseinrichtung (16), die ein erstes und ein zweites Positionssignal (S_w) jeweils über den ersten und den zweiten Magnetkopf (14a, 14b) auf dem ersten und dem zweiten magnetischen Aufzeichnungsabschnitt (12a, 12b) aufzeichnet, während sich das Rotationselement (10) unbelastet dreht,
 - einer Wiedergabeeinrichtung (14a—14c), die das erste Positionssignal über den ersten und den dritten Magnetkopf (14a, 14c) und das zweite Positionssignal über den zweiten Magnetkopf (14b) wiedergibt, während sich das Rotationselement (10)

belastet dreht,
 einer Phasendifferenzfassungseinrichtung (24),
 die die Phasendifferenz (Δt) zwischen den Positionssignalen (Sa1, Sb1) erfaßt, die von dem ersten und dem zweiten Magnetkopf (14a, 14b) wiedergegeben werden,
 einer Zeitdifferenzfassungseinrichtung (26), die die Zeitdifferenz (t) zwischen den Positionssignalen (Sa1, Sc1) erfaßt, die durch den ersten und den dritten Magnetkopf (14a, 14c) wiedergegeben werden,
 einer Torsionswinkelberechnungseinrichtung (28), die den Winkel der Torsion (Θ) des Rotationselementes (10) berechnet, wenn dieses sich belastet dreht, und zwar auf der Basis des vorbestimmten Winkels (Θ_0), der Phasendifferenz (Δt) und der Zeitdifferenz (t), und
 einer Drehmomentberechnungseinrichtung (28), die das auf das Rotationselement (10) wirkende Drehmoment (T) auf der Basis des Winkels der Torsion (Θ) berechnet.

2. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 1, bei dem der Winkel der Torsion (Θ) des Rotationselementes (10) auf der Basis des Winkels (Θ_0) zwischen dem ersten und dem dritten Magnetkopf (14a, 14c), der Phasendifferenz (Δt) und der Zeitdifferenz (t) gemäß folgender Formel berechnet wird:

$$\Theta = (\Delta t/t) \cdot \Theta_0.$$

3. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 2, bei dem das auf das Rotationselement (10) wirkende Drehmoment (T) auf der Basis des Winkels der Torsion (Θ) gemäß folgender Formel berechnet wird:

$$T = \pi^2 G d^4 \cdot \Theta / 64 L,$$

wobei G das Schubmodul des Rotationselementes (10) darstellt, wobei d den Durchmesser des Rotationselementes (10) darstellt und wobei L die Entfernung zwischen dem ersten und dem zweiten Magnetkopf (14a, 14b) darstellt.

4. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 1, bei dem die magnetischen Aufzeichnungsabschnitte (12a, 12b) ausgebildet sind durch Ausbilden von Schichten von magnetischem Material auf der Umfangsoberfläche des Rotationselementes (10).

5. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 1, bei dem das Rotationselement (10) aus magnetischem Material hergestellt ist und die magnetischen Aufzeichnungsabschnitte (12a, 12b) Teile der Umfangsoberfläche des Rotationselementes (10) sind.

6. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 1, bei dem der erste und der dritte Magnetkopf (14a, 14c) in der Form eines einzelnen Mehrspaltnagnetkopfes (40) mit einem Paar von Spalten (38a, 38c) ausgebildet sind.

7. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 1, welches weiterhin eine Rotationsgeschwindigkeitserfassungseinrichtung (52; 62) aufweist, die die Rotationsgeschwindigkeit (V) des Rotationselementes (10) erfaßt, und eine Signaleigenschaftveränderungseinrichtung aufweist, die die Eigenschaften der auf dem ersten und dem zweiten magnetischen Aufzeichnungsabschnitt (12a, 12b) aufgezeichneten Positionssignale (Sa1—Sc1) gemäß der Rotationsgeschwindigkeit (V) des Rotationselementes (10)

verändert.

8. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 7, bei dem die Signaleigenschaftveränderungseinrichtung die Ausgabeintervalle der Positionssignale (Sa1—Sc1) verändert.

9. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 7, bei dem die Signaleigenschaftveränderungseinrichtung die Impulsbreiten der Positionssignale (Sa1—Sc1) verändert.

10. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 7, bei dem die Signaleigenschaftveränderungseinrichtung die Intensitäten der Positionssignale (Sa1—Sc1) verändert.

11. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 7, bei dem die Rotationsgeschwindigkeitserfassungseinrichtung (62) eine Signalaufzeichnungs- und Wiedergabeeinrichtung (116, 114d, 114e) aufweist, die ein Positionssignal über einen Magnetkopf (114d) auf einem magnetischen Aufzeichnungsabschnitt (112) aufzeichnet, der auf dem Rotationselement (10) vorgesehen ist, und das Positionssignal durch einen Magnetkopf (114d, 114e) wiedergibt, und eine Rotationsgeschwindigkeitsberechnungseinrichtung (64) aufweist, die die Rotationsgeschwindigkeit (V) auf der Basis des bzw. der wiedergegebenen Positionssignal(e) (Se2, Sd2) berechnet.

12. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 11, bei dem die Signalaufzeichnungs- und Wiedergabeeinrichtung ein Paar von Magnetköpfen (114d, 114e) aufweist, die winkelmäßig voneinander um einen vorbestimmten Winkel (Θ_0) in umfänglicher Richtung des Rotationselementes (10) beabstandet sind, und wobei die Rotationsgeschwindigkeitsberechnungseinrichtung (64) die Rotationsgeschwindigkeit (V) auf der Basis des vorbestimmten Winkels (Θ_0) und der Zeitdifferenz (t_0) zwischen wiedergegebenen Positionssignalen (Sd2, Se2) berechnet, die erhalten werden durch Wiedergeben des Positionssignals über beide der Magnetköpfe (114d, 114e), welches durch einen der Magnetköpfe (114d) aufgezeichnet worden ist.

13. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 12, bei dem der erste Magnetkopf (14a) auch den einen der Magnetköpfe (114d) bildet und der dritte Magnetkopf (14c) den anderen der Magnetköpfe (114e) bildet.

14. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 12, bei dem der magnetische Aufzeichnungsabschnitt (112), auf dem die Signalaufzeichnungs- und Wiedergabeeinrichtung (116, 114e, 114d) das Positionssignal aufzeichnet, zusätzlich zu dem ersten und dem zweiten magnetischen Aufzeichnungsabschnitt (12a, 12b) auf der Umfangsoberfläche des Rotationselementes (10) ausgebildet ist und das Paar von Magnetköpfen (114d, 114e) der Rotationsgeschwindigkeitserfassungseinrichtung zusätzlich zu dem ersten und dem dritten Magnetkopf (14a, 14c) vorgesehen ist.

15. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 7, welches weiterhin eine Verzögerungseinrichtung (54) aufweist, die das durch den zweiten Magnetkopf (14b) aufgezeichnete Positionssignal (Sb1) in der Phase um eine vorbestimmte Zeit (Δt_0) relativ zu dem Positionssignal (Sa1) verzögert, welches durch den ersten Magnetkopf (14a) aufgezeichnet ist, so daß das durch den zweiten Magnetkopf (14b) wiedergegebene Wiedergabesignal (Sb1) eine vor-

bestimmte anfängliche Phasendifferenz (Δt_0) relativ zu den durch den ersten Magnetkopf (14a) wiedergegebenen Signalen (Sa1) aufweist.

16. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 15, welches weiterhin eine Belastungsrichtungsbestimmungseinrichtung (56) aufweist, die die Richtung der auf das Rotationselement (10) wirkenden Belastung bestimmt.

17. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 16, bei dem die Belastungsrichtungsbestimmungseinrichtung (56) die Richtung der auf das Rotationselement (10) wirkenden Belastung auf der Basis eines Vergleichs der anfänglichen Phasendifferenz und der Phasendifferenz (Δt_0) zwischen den wiedergegebenen Positionssignalen (Sa1, Sb1) bestimmt, die jeweils durch den ersten und zweiten Magnetkopf (14a, 14b) wiedergegeben sind.

18. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 16, dem die Belastungsrichtungsbestimmungseinrichtung (56) die Richtung der Belastung, die auf das Rotationselement (10) wirkt, auf der Basis des Vergleichs der Differenz (t_{12}) zwischen den Zeiten, bei denen die durch den ersten und den zweiten Magnetkopf (14a, 14b) wiedergegebenen Positionssignale (Sa1, Sb1) erfaßt werden, und der Differenz (t_{23}) zwischen den Zeiten bestimmt, bei denen die durch den zweiten und den dritten Magnetkopf (14b, 14c) wiedergegebenen Positionssignale (Sb1, Sc1) erfaßt werden.

19. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 1, welches weiterhin eine Erfassungszeitsteuereinrichtung (30) aufweist, die die Erfassungszeiten der Phasendifferenzfassungseinrichtung (24) und der Zeitdifferenzfassungseinrichtung (26) in Synchronisation zu einem der durch den ersten bis dritten Magnetkopf (14a—14c) wiedergegebenen Signale (Sa1—Sc1), welches zuerst erfaßt ist, und zu einem der durch den ersten bis dritten Magnetkopf (14a—14c) wiedergegebenen Signale (Sa1—Sc1) steuert, welches zuletzt erfaßt wird.

20. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 19, bei dem die Erfassungszeitsteuereinrichtung (30) Zähler (70) in der Phasendifferenzfassungseinrichtung (24) und der Zeitdifferenzfassungseinrichtung (26) steuert.

21. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 19, welches weiter eine Belastungsrichtungsbestimmungseinrichtung (58) aufweist, die die Richtung der auf das Rotationselement (10) wirkenden Belastung bestimmt.

22. Drehmomenterfassungssystem nach Anspruch 21, bei dem die Belastungsrichtungsbestimmungseinrichtung (58) die Richtung der auf das Rotationselement (10) wirkenden Belastung gemäß der Erfassungszeit der wiedergegebenen Positionssignale (Sa1, Sb1) bestimmt, die jeweils durch den ersten und zweiten Magnetkopf (14a, 14b) wiedergegeben werden.

Hierzu 24 Seite(n) Zeichnungen

60

65

FIG. 1

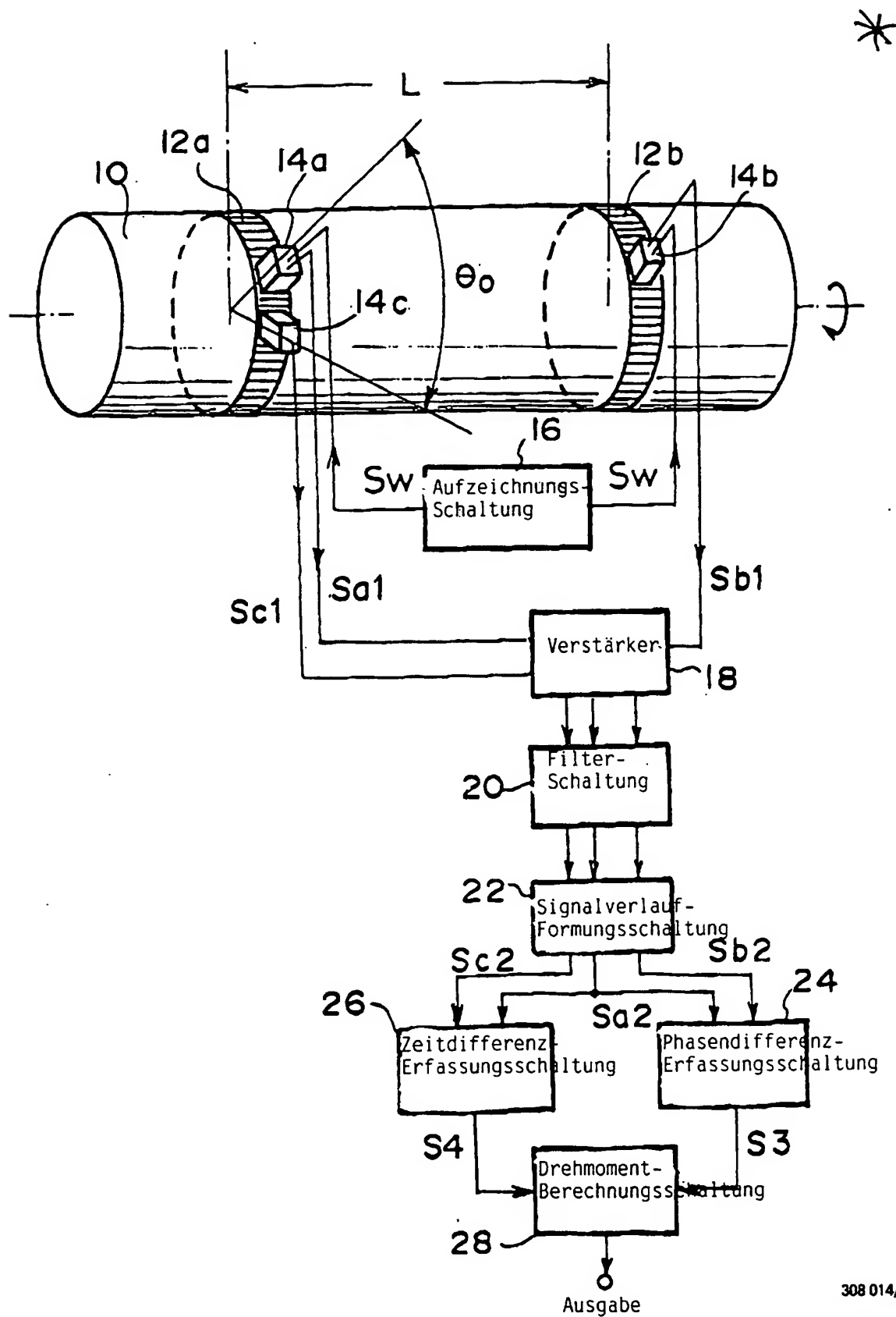


FIG. 2

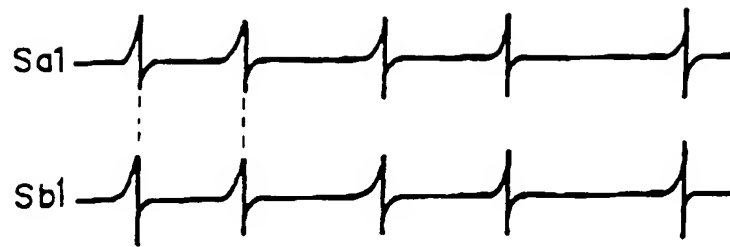


FIG. 3

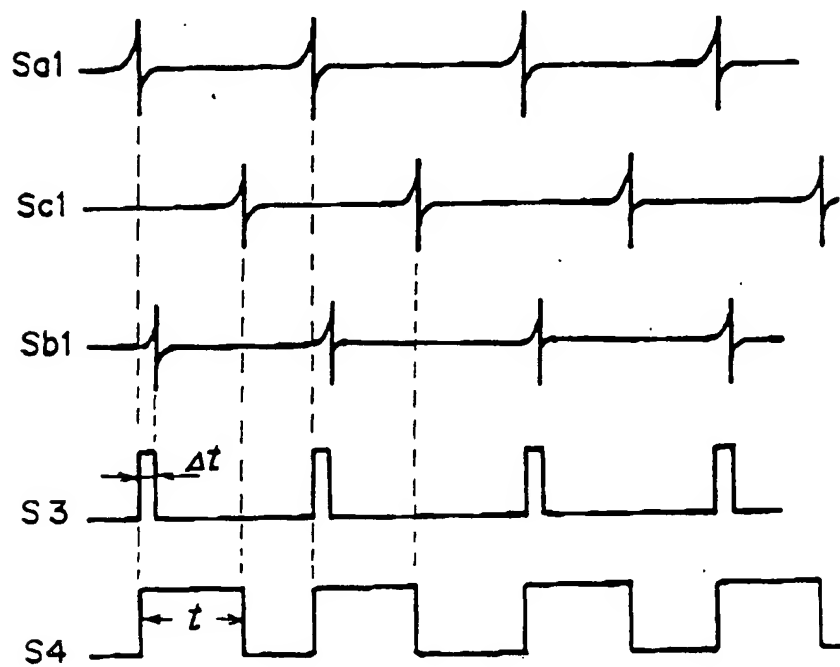


FIG. 4

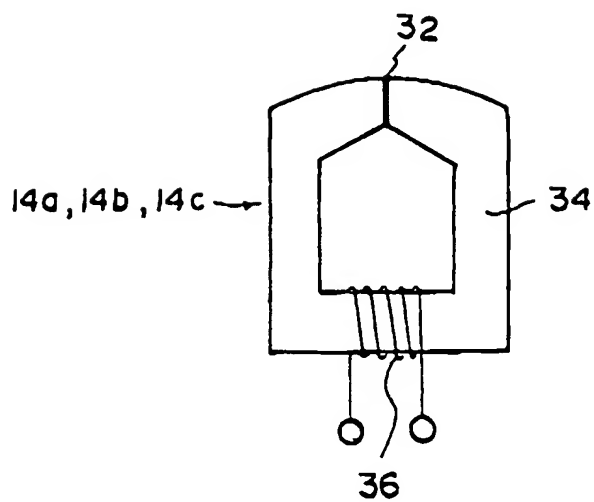


FIG. 5

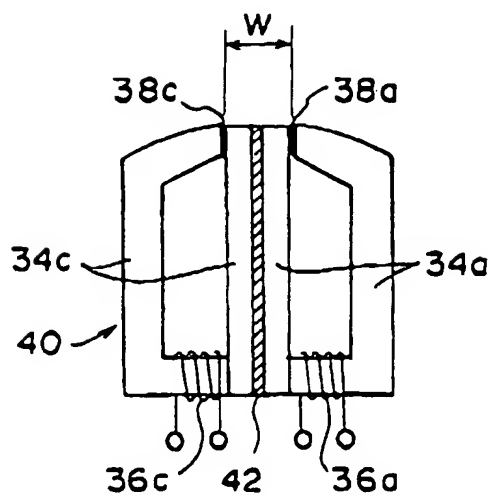


FIG. 6

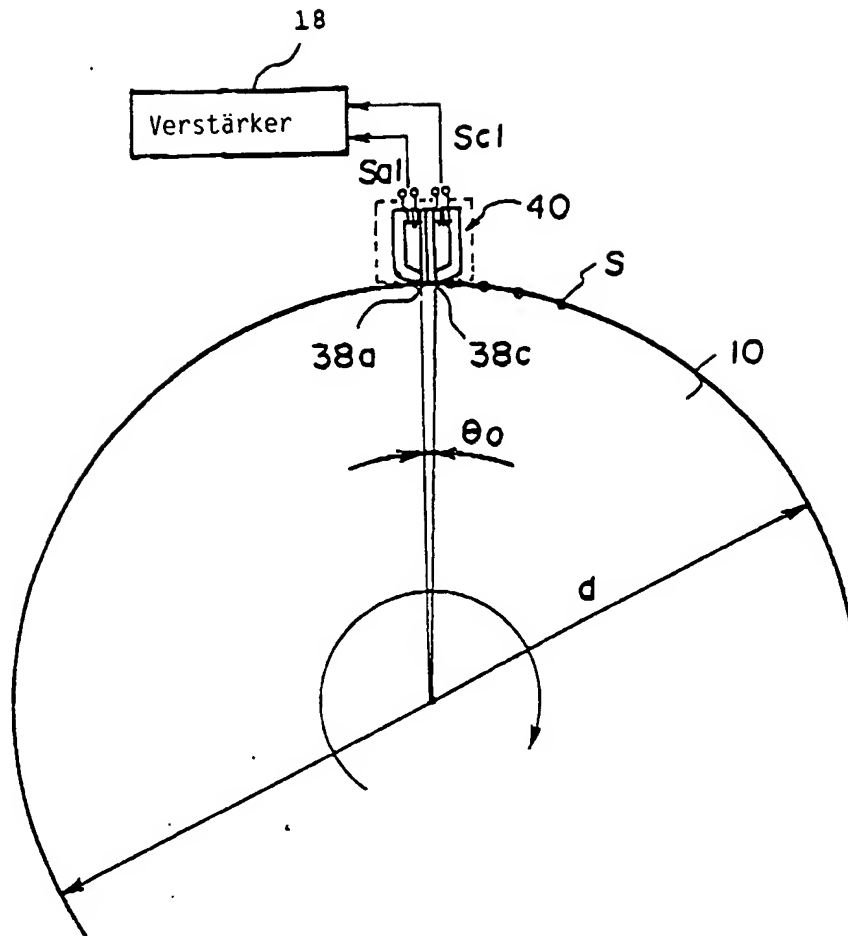
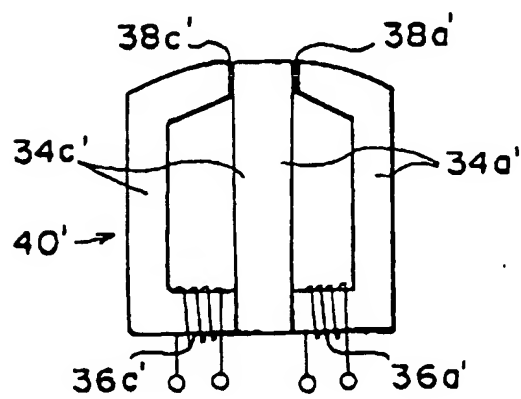


FIG. 7



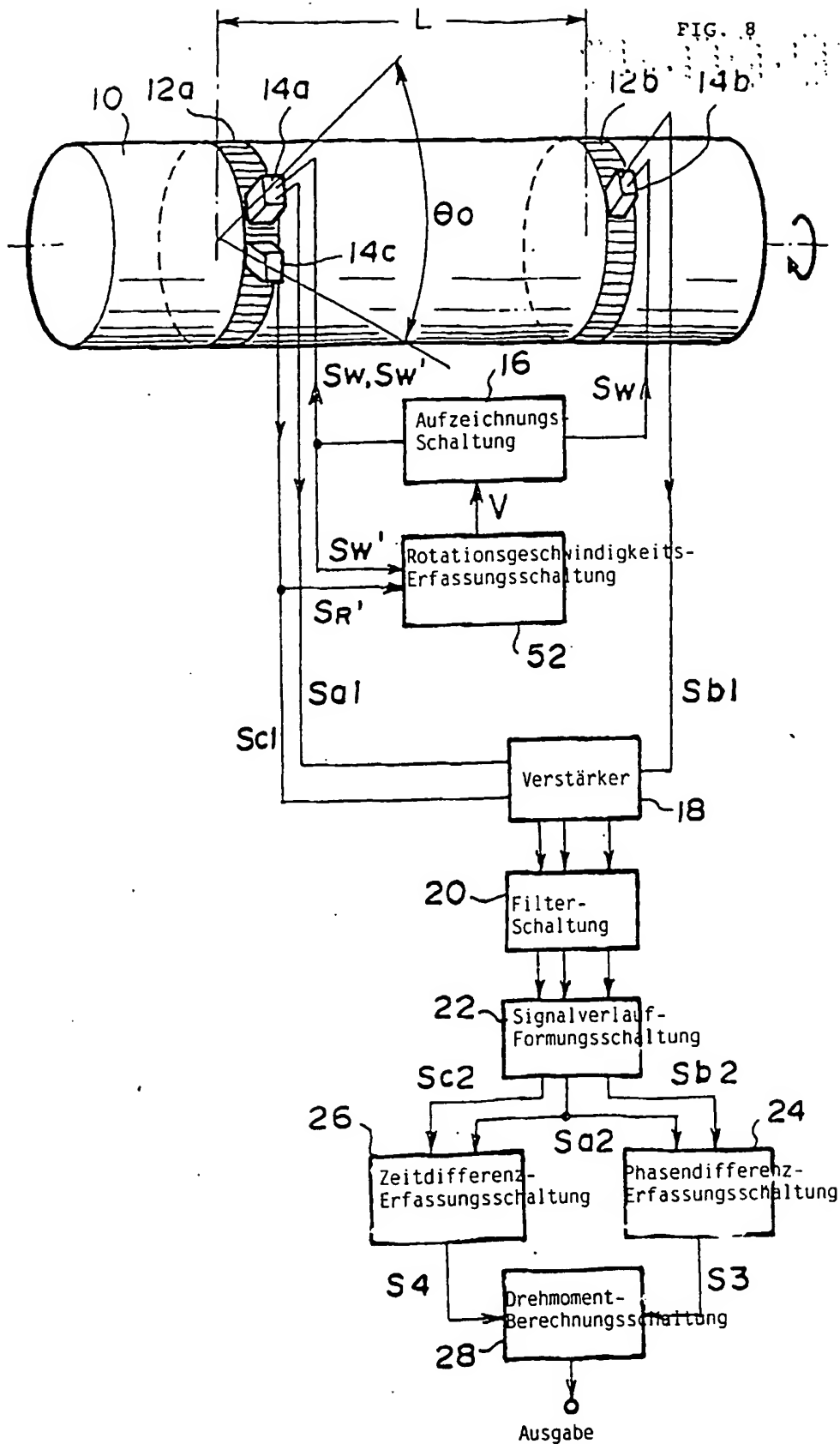


FIG. 9

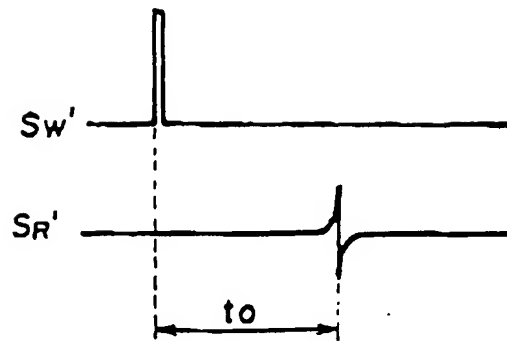


FIG. 10

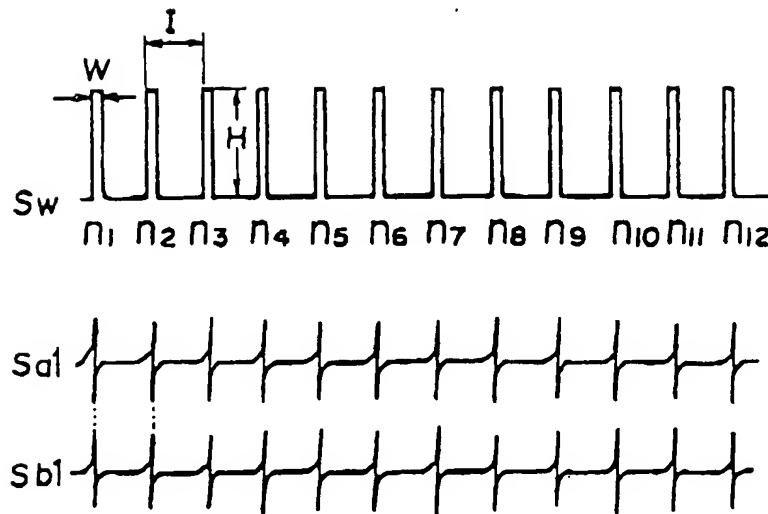


FIG. 11

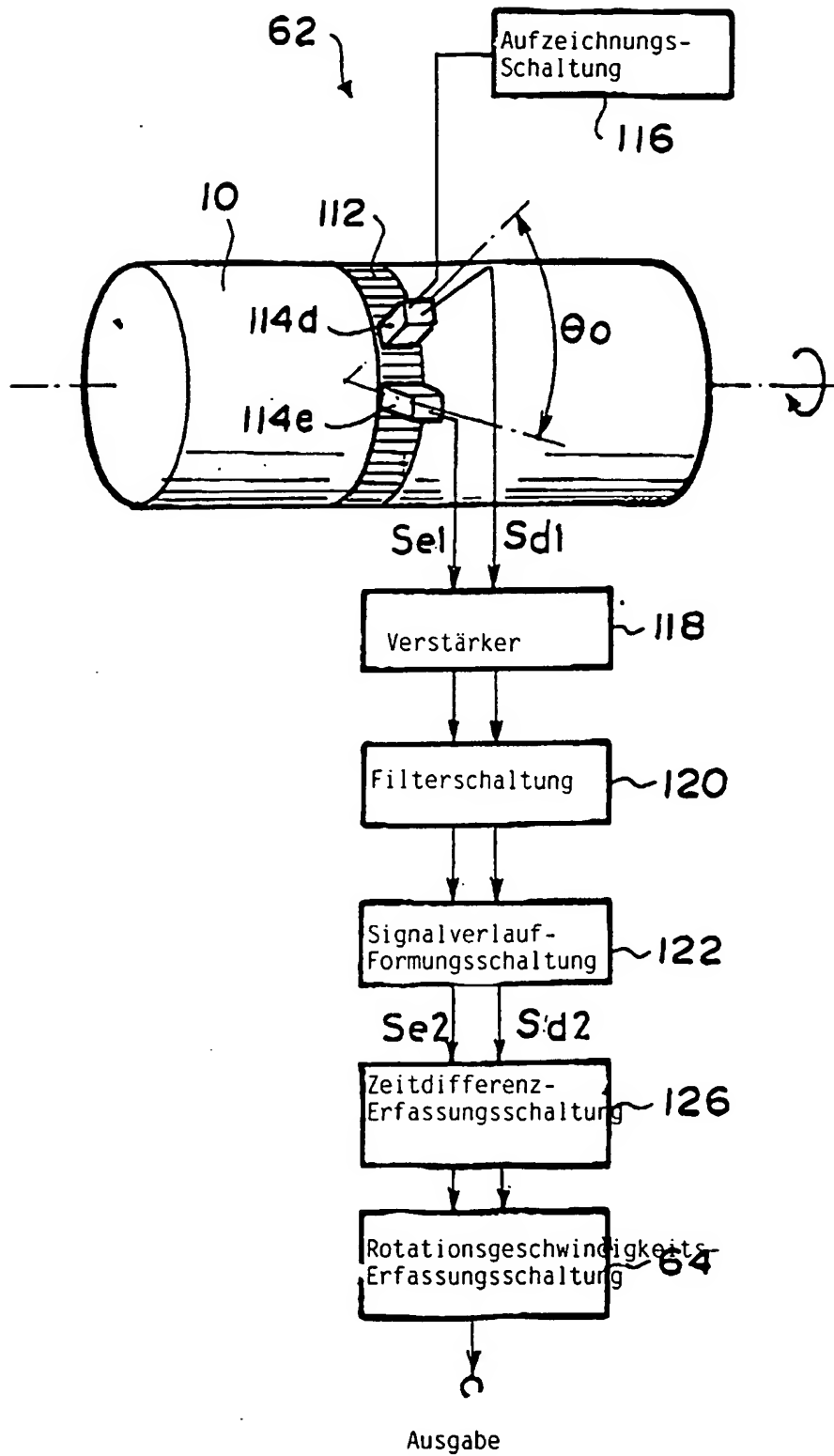


FIG. 12

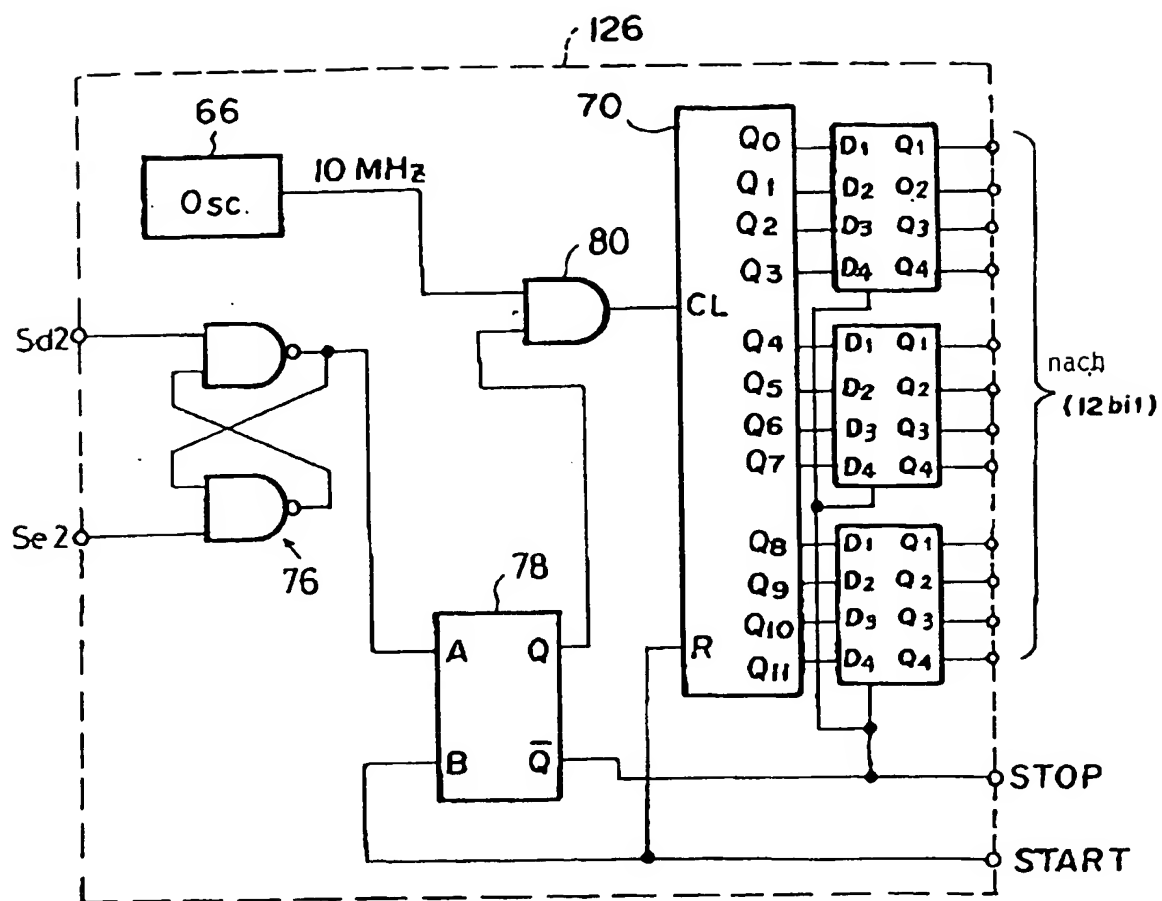


FIG. 13

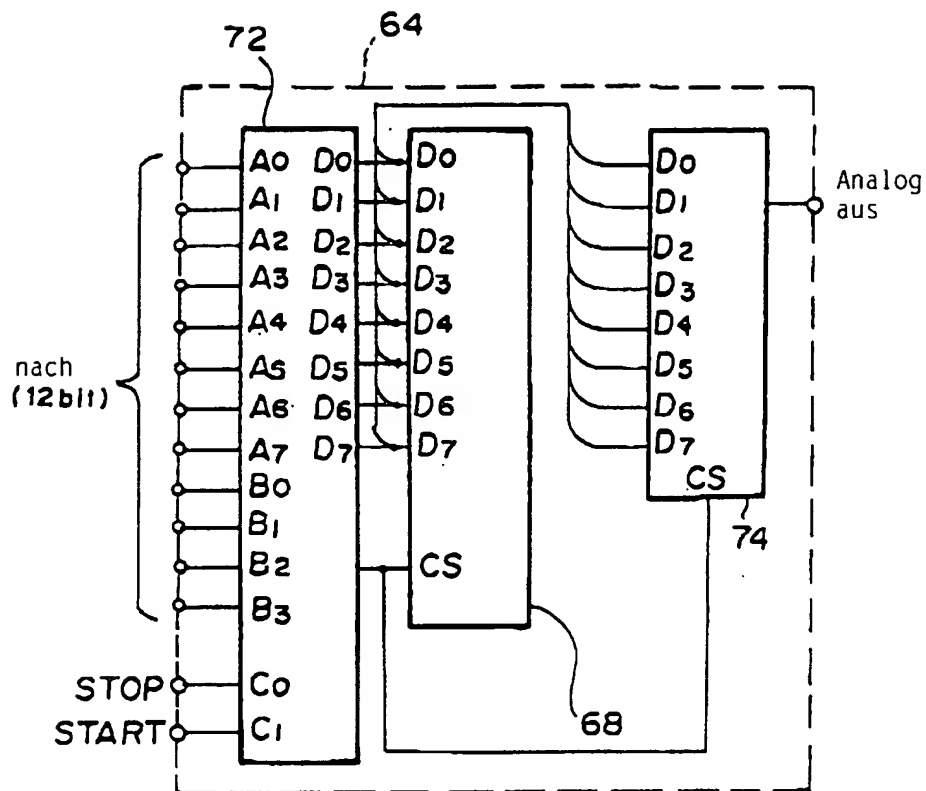
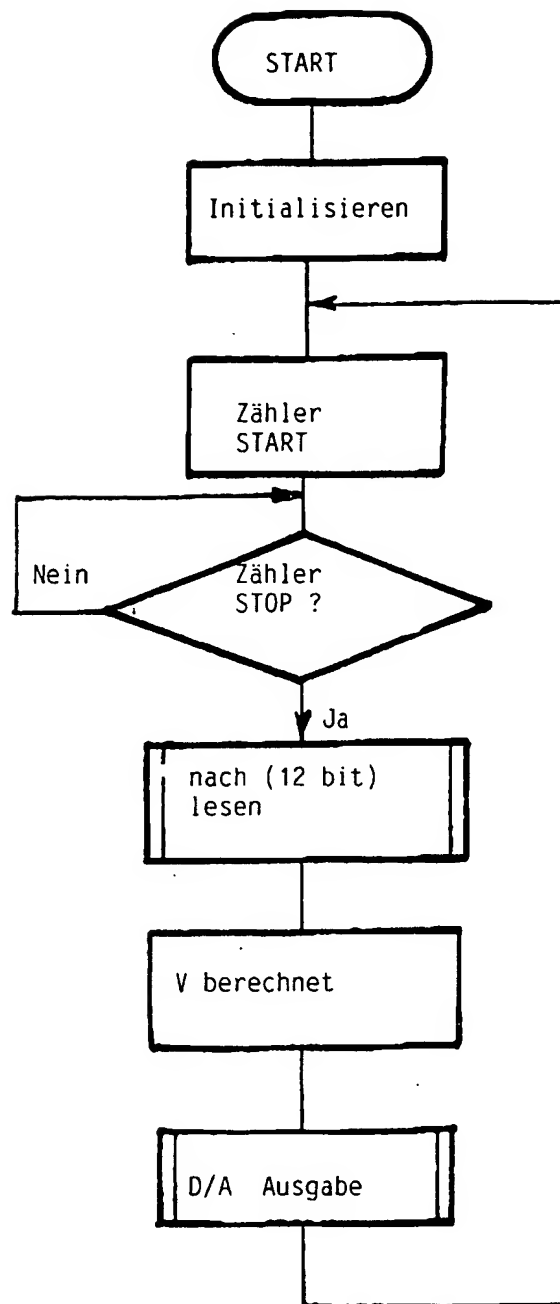


FIG. 14



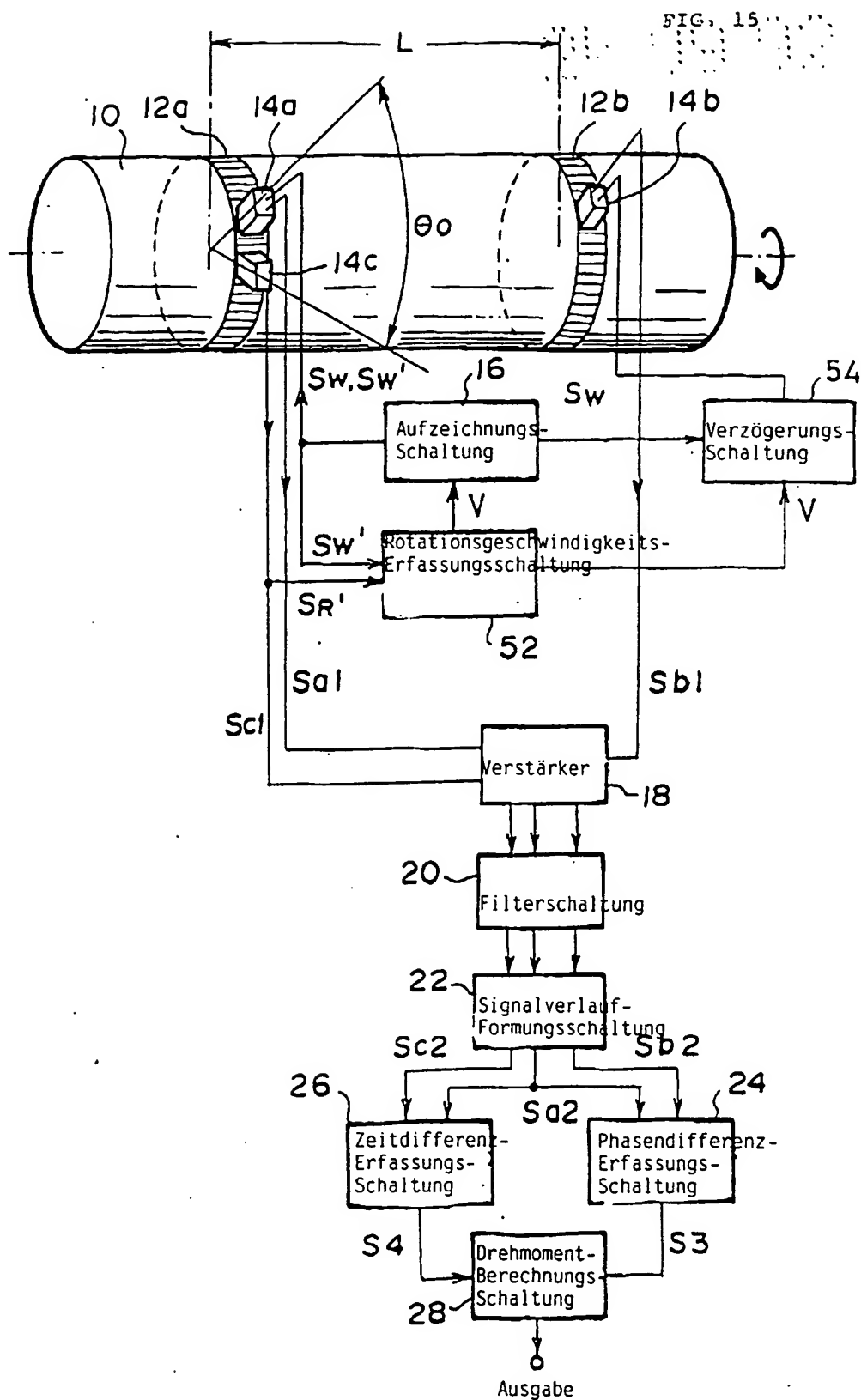


FIG. 16

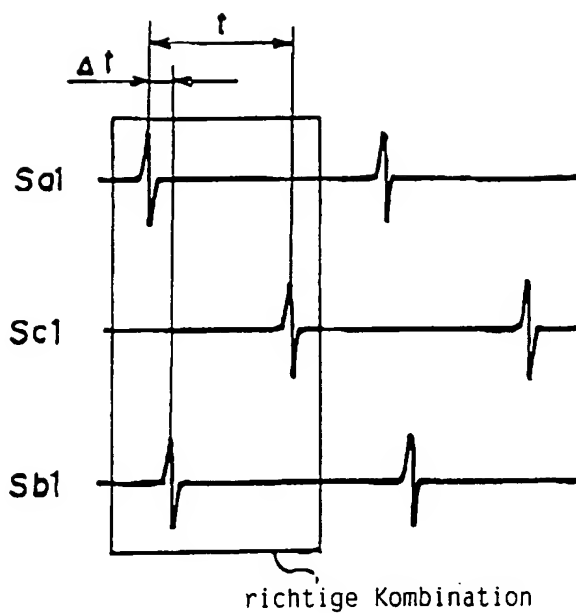


FIG. 17

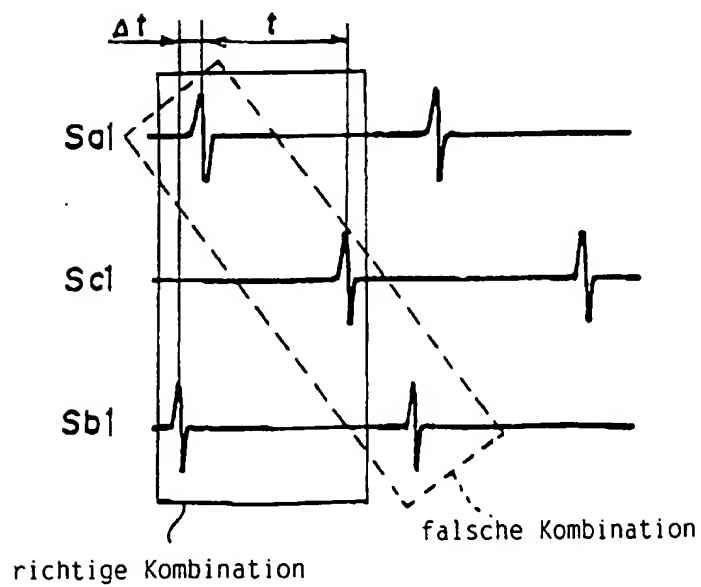


FIG. 18

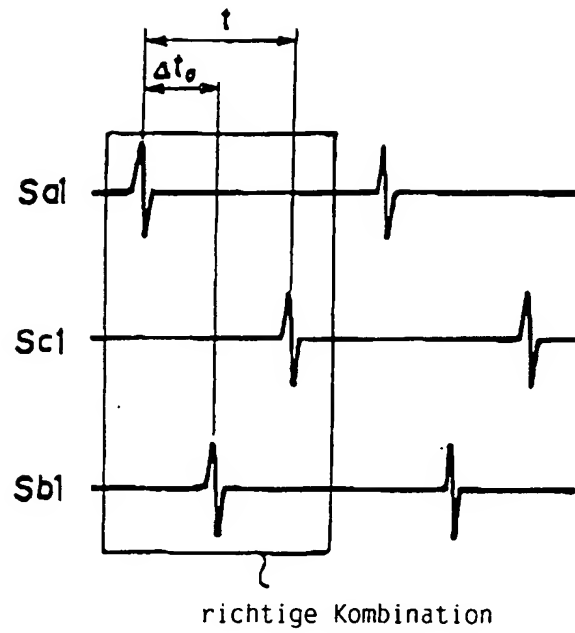
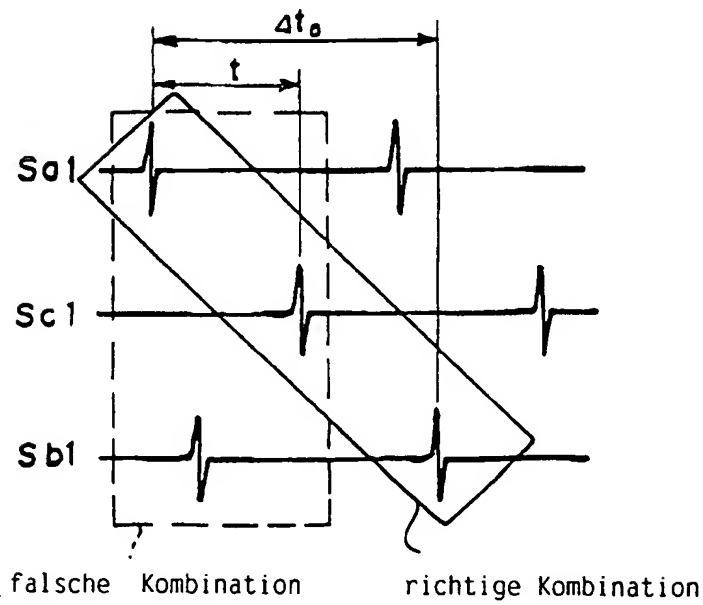


FIG. 19



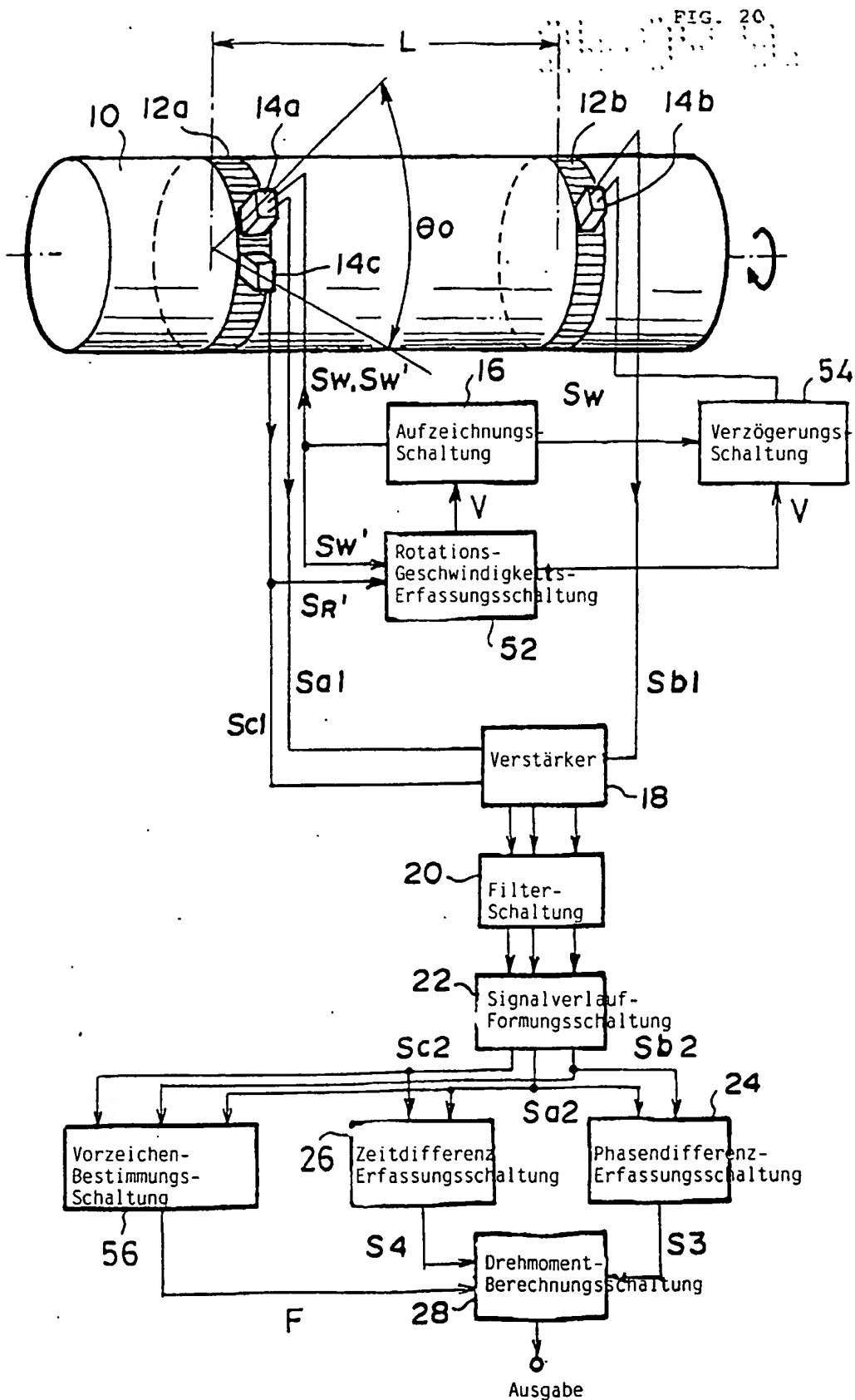


FIG. 21

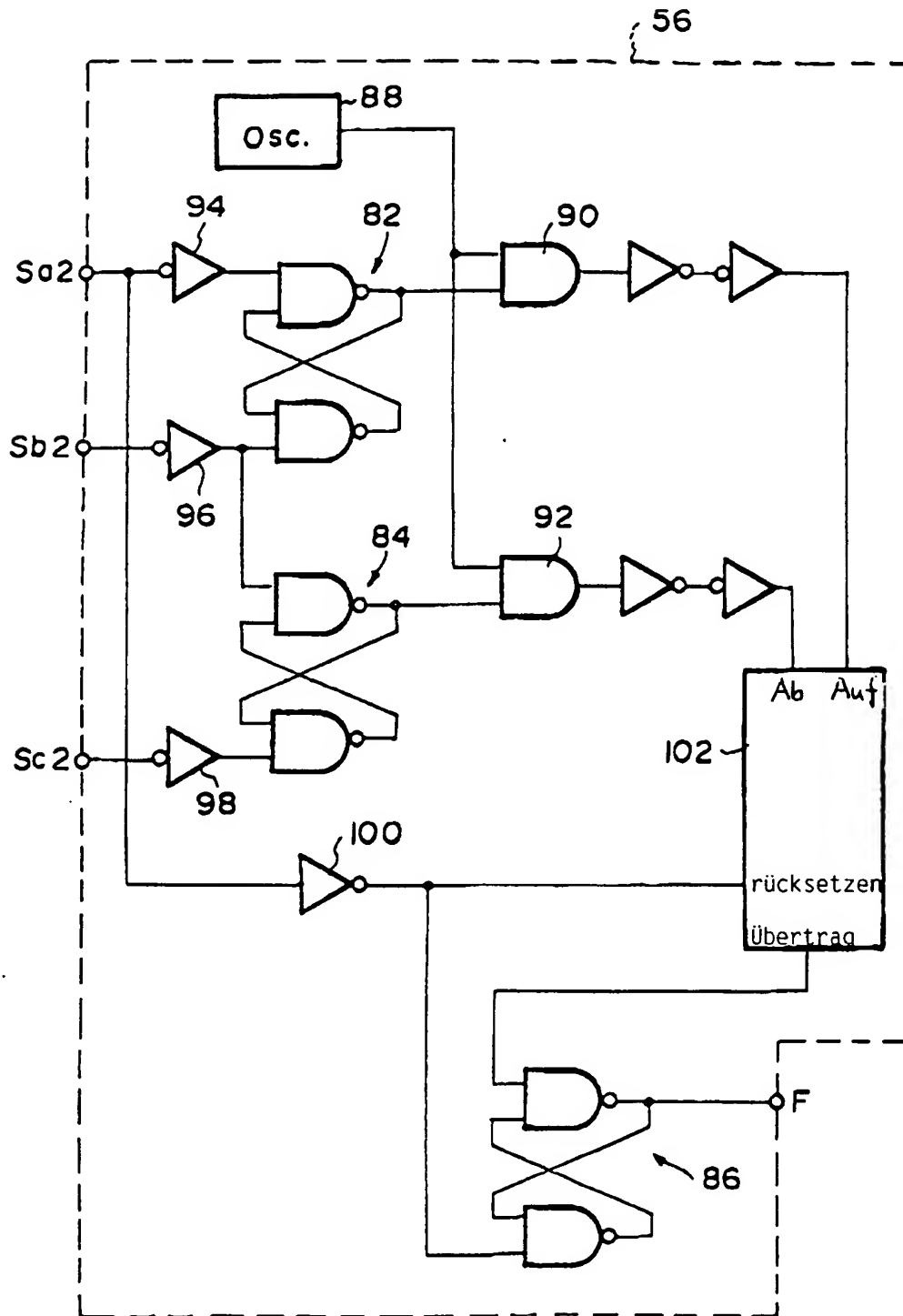


FIG. 22

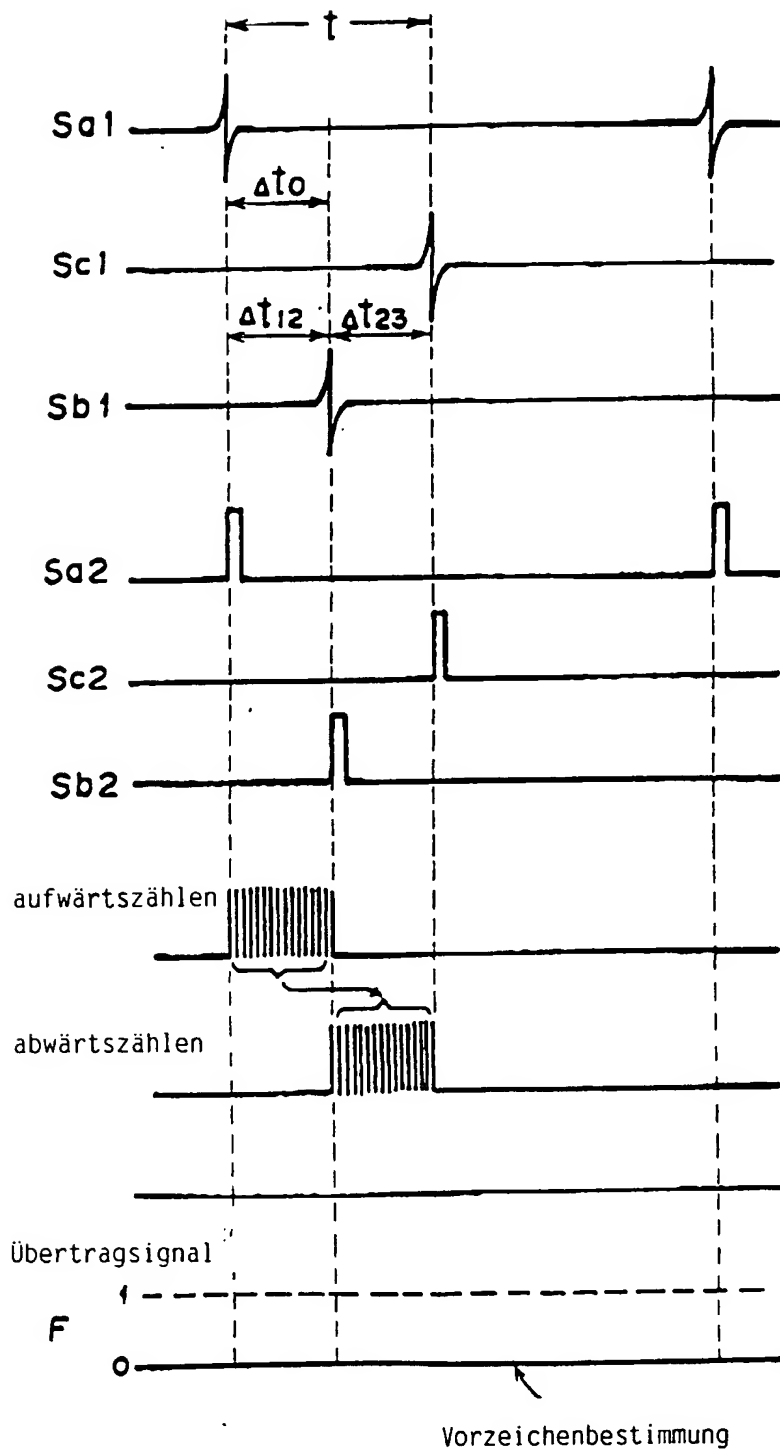


FIG. 23

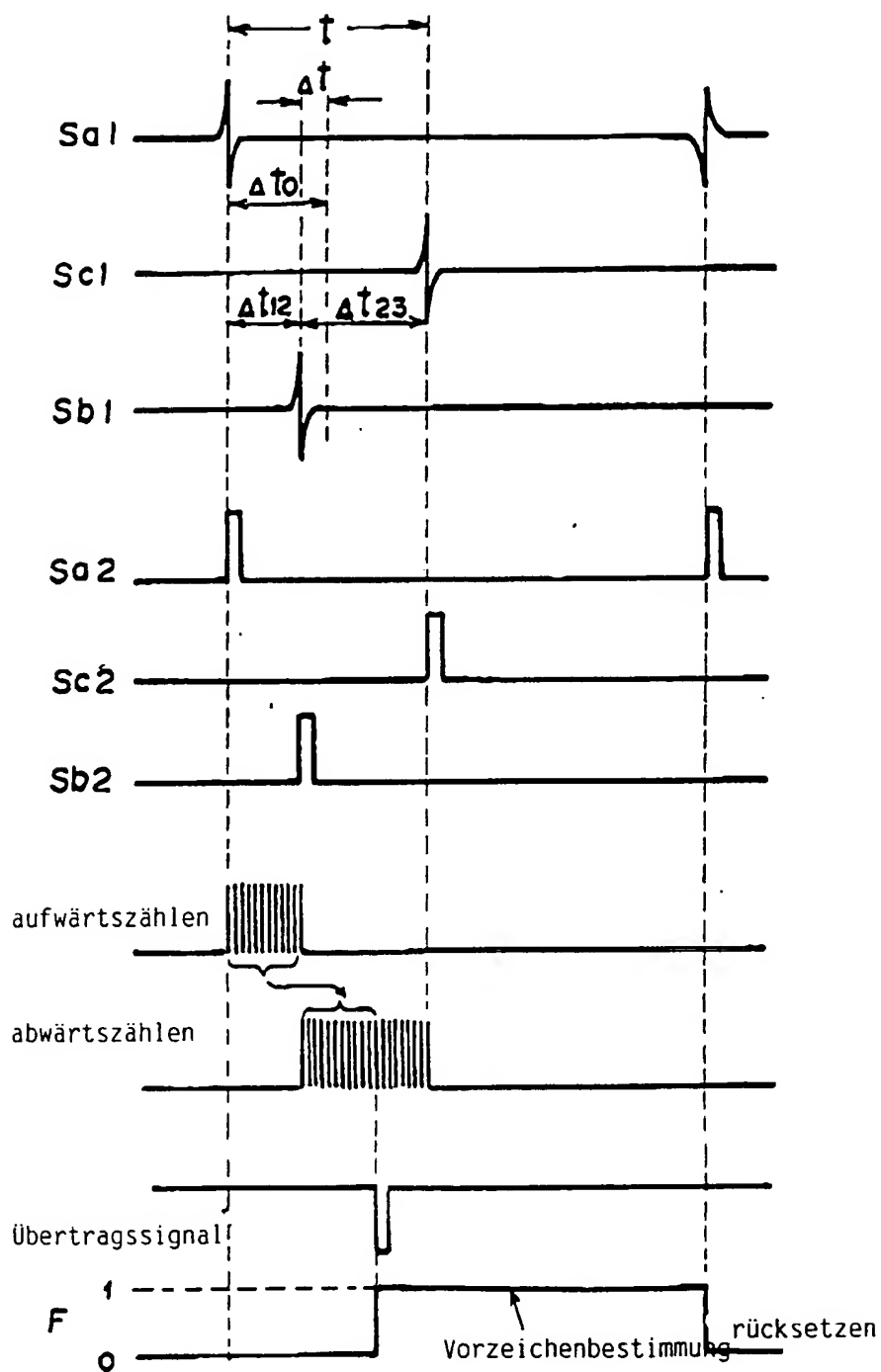


FIG. 24

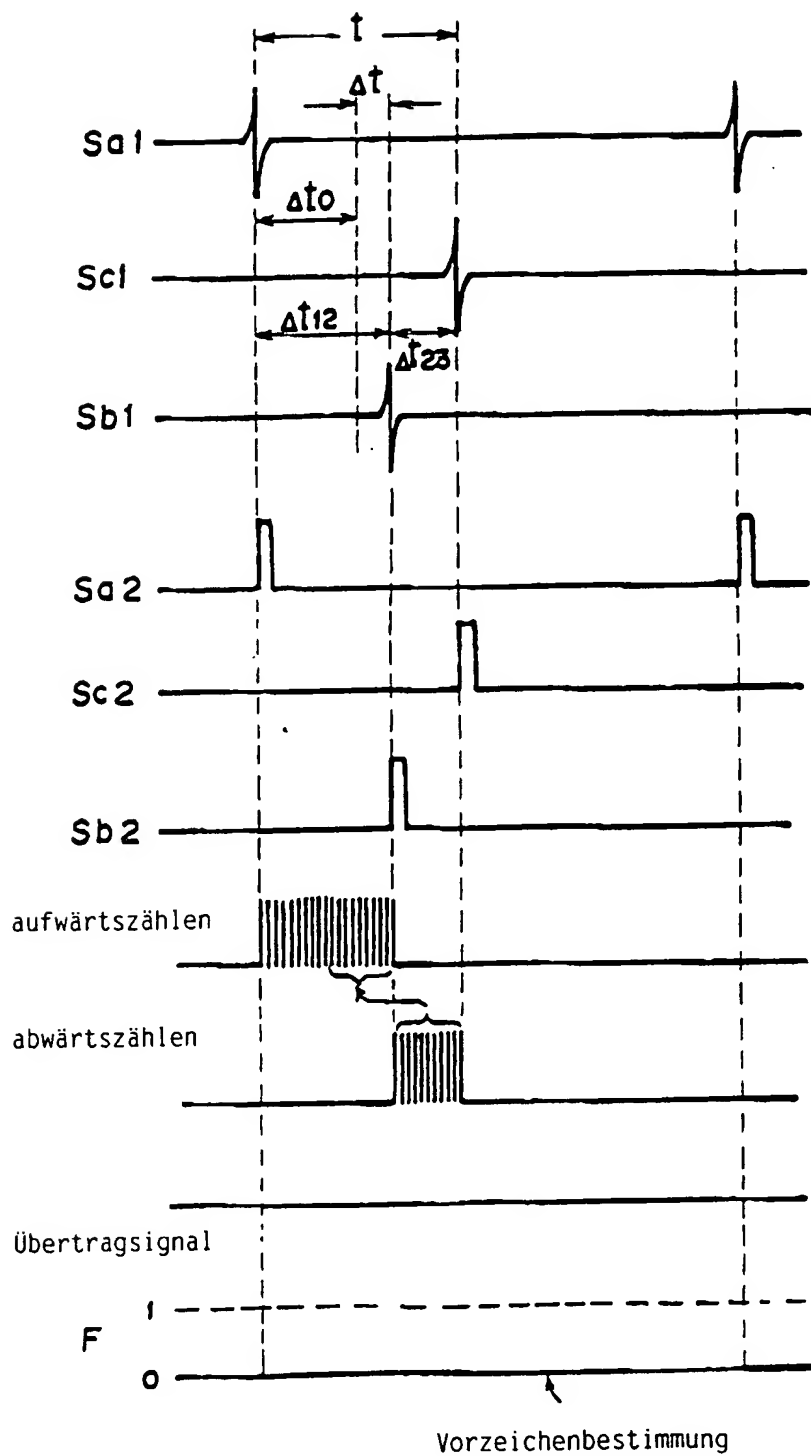


FIG. 25

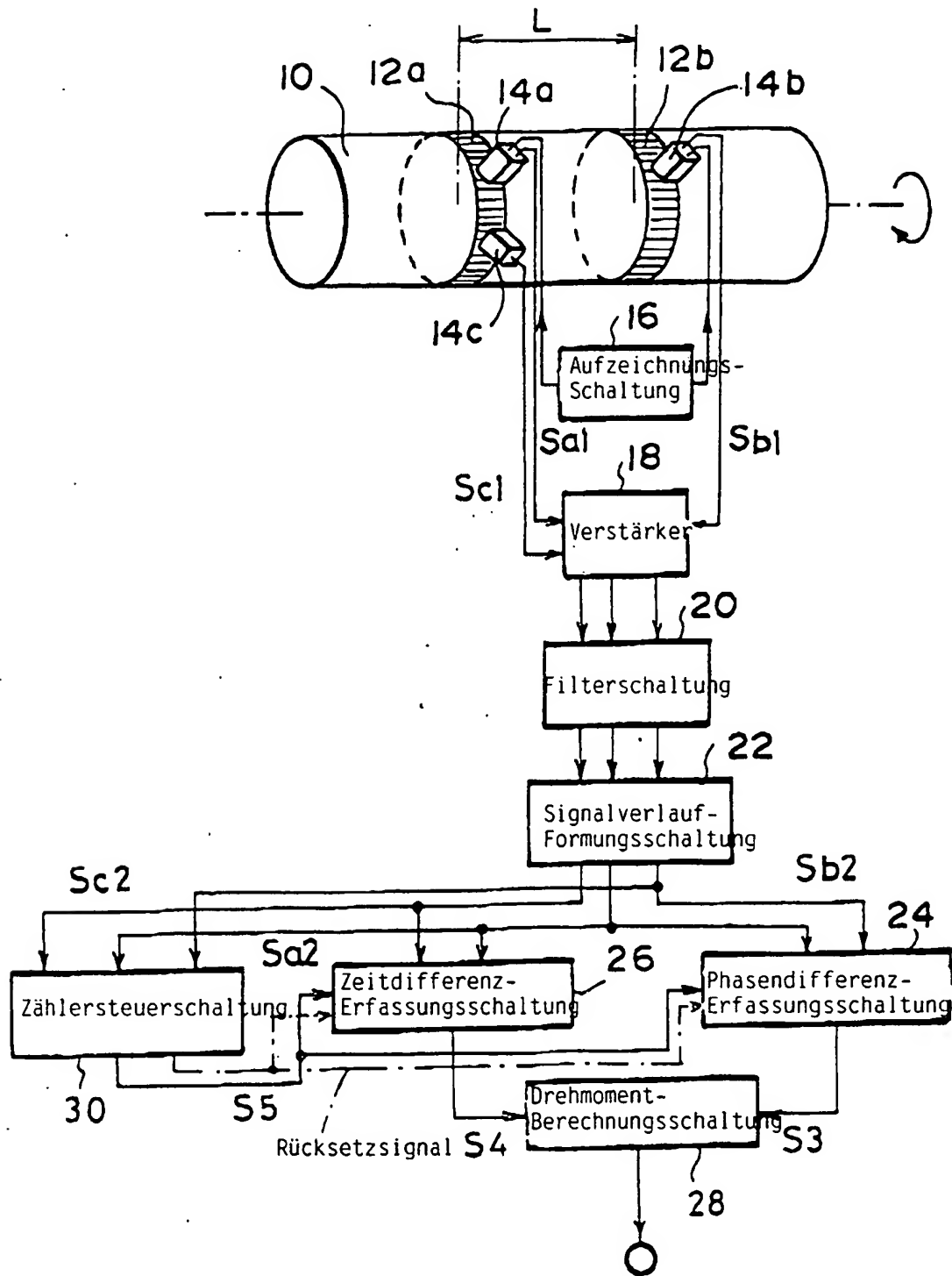


FIG. 26

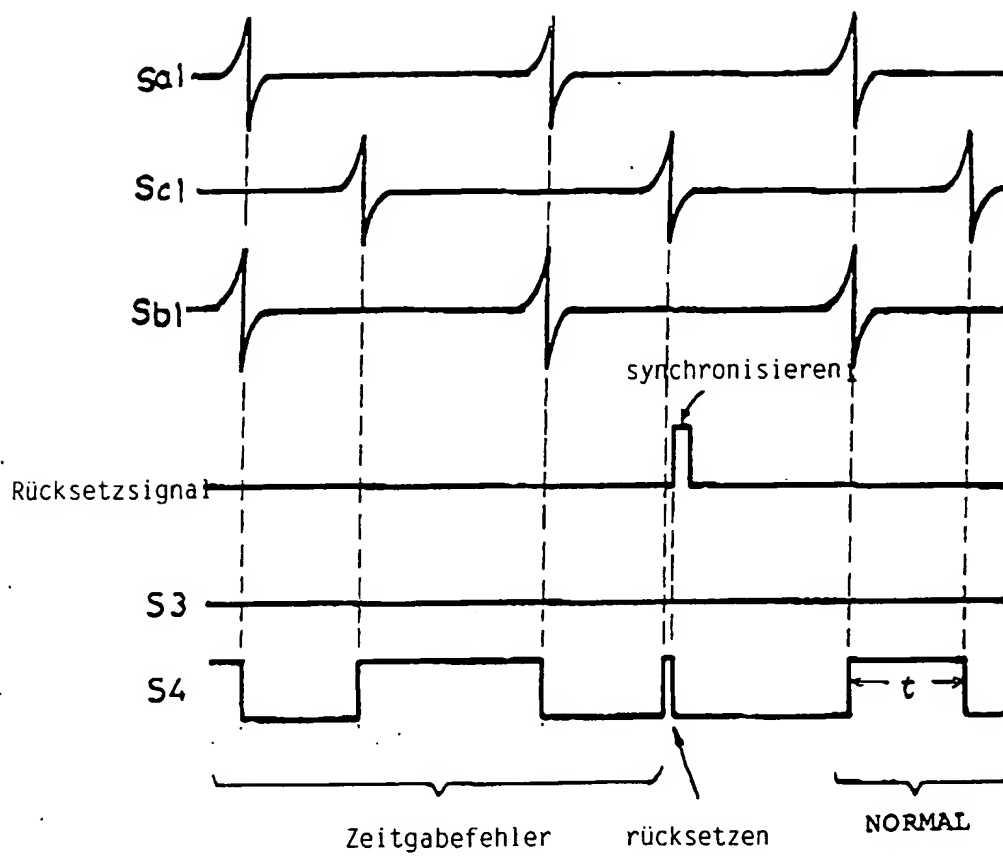


FIG. 27

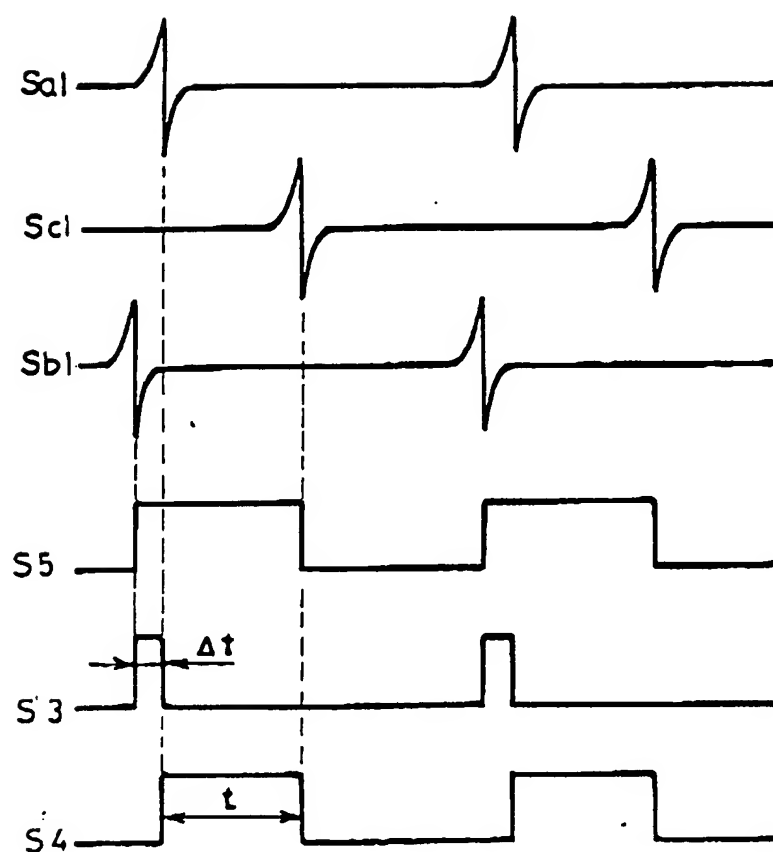


FIG. 28

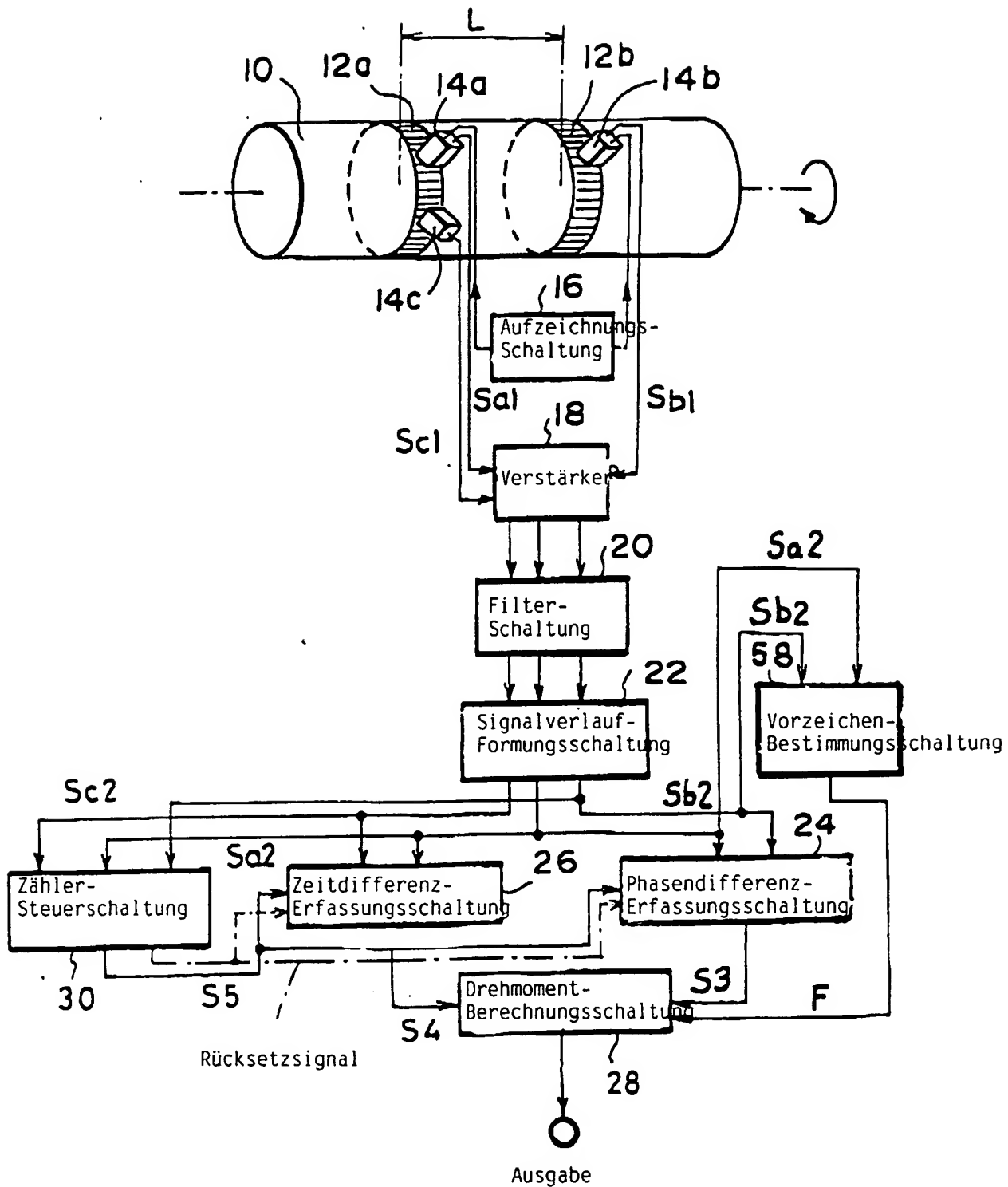


FIG. 29

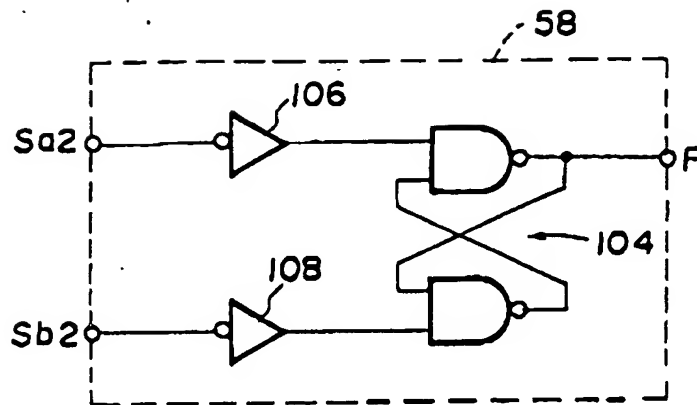


FIG. 30

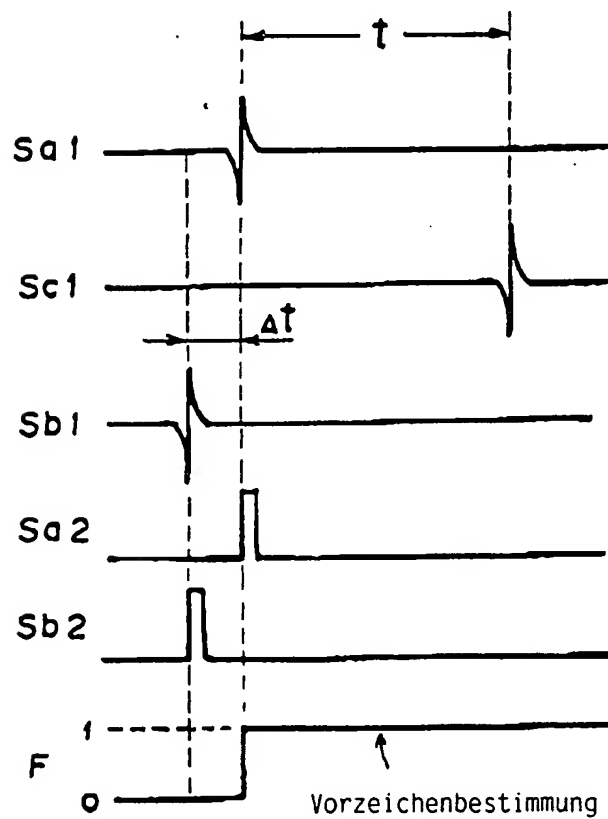


FIG. 31

